



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 53 160 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 01 L 33/00**

⑳ Aktenzeichen: 199 53 160.9  
㉔ Anmeldetag: 4. 11. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 31. 5. 2000

DE 199 53 160 A 1

③① Unionspriorität:  
196928 20. 11. 1998 US  
⑦① Anmelder:  
Hewlett-Packard Co., Palo Alto, Calif., US  
⑦④ Vertreter:  
Schoppe, Zimmermann & Stöckeler, 81479  
München

⑦② Erfinder:  
Steigerwald, Daniel A., Cupertino, Calif., US; Rudaz,  
Serge L., Sunnyvale, Calif., US; Thomas, Kyle J.,  
Sunnyvale, Calif., US; Lester, Steven D., Palo Alto,  
Calif., US; Martin, Paul S., Pleasanton, Calif., US;  
Imler, William R., Oakland, Calif., US; Fletcher,  
Robert M., San Jose, Calif., US; Kish jun., Fred A.,  
San Jose, Calif., US; Maranowski, Steven A., San  
Jose, Calif., US

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verbesserte Elektrodenstrukturen für lichtemittierende Bauelemente

⑤⑦ Ein lichtemittierendes Bauelement besitzt einen Heteroübergang mit einer p-Typ-Schicht und einer n-Typ-Schicht. Eine n-Elektrode ist elektrisch mit der n-Typ-Schicht verbunden, während eine p-Elektrode elektrisch mit der p-Typ-Schicht verbunden ist. Die p- und die n-Elektrode sind positioniert, um eine Region mit einer gleichmäßigen Lichtintensität zu bilden.

DE 199 53 160 A 1

**BEST AVAILABLE COPY**

Die Erfindung ist auf das Gebiet von lichtemittierenden Bauelementen gerichtet, und spezieller auf die Verbesserung der Gleichmäßigkeit einer Lichtemission und des Flächenwirkungsgrads dieser Bauelemente.

Die kommerziell erhältlichen, lichtemittierenden AlInGaN-Bauelemente (LEDs) mit dem besten Verhalten sind auf ein isolierendes Substrat, beispielsweise aus Saphir, aufgewachsen. Elektroden und Verbindungsanschlüsflächen derselben sind üblicherweise auf der Oberseite der AlInGaN-Halbleiterschichten des Bauelements plaziert.

Während des Betriebs wird Strom durch externe Anschlüsse, die durch Drahtbonden (Kugel oder Keil), Lötens oder Befestigen mit einem leitfähigen Haftmittel mit den Verbindungsanschlüsflächen verbunden sind, in die LED injiziert. Die p- und n-Elektroden injizieren und verteilen den Strom in die jeweiligen Halbleiterschichten. Licht wird erzeugt, wenn Strom in der Vorwärtsrichtung über den p-n-Übergang fließt, was die Rekombination von Minoritätsträgern an dem p-n-Übergang bewirkt. Die Intensität, I, des Lichts, das unter typischen Betriebsbedingungen von dem Bauelement emittiert wird, ist proportional zu der Stromdichte J des Stroms pro Einheitsfläche. Je größer die Fläche des p-n-Übergangs für eine gegebene Stromdichte J ist, desto größer ist die Intensität I, die durch die LED erzeugt wird.

Die p-Typ-Halbleiterschichten in dem AlInGaN-Materialsystem sind widerstandsbehafteter als die n-Typ-Halbleiterschichten. Folglich verteilt sich der Strom, der an der p-Elektrode injiziert wird, nicht lateral in dem p-Typ-Halbleiter und verteilt sich nicht lateral von der p-Elektrode weg. Der Strom fließt von der p-Elektrode entlang des kürzesten Wegs (d. h. üblicherweise vertikal) über den p-n-Übergang zu den n-Typ-Halbleiterschichten. Der Strom verteilt sich dann lateral in den n-Typ-Halbleiterschichten, um die n-Elektrode zu erreichen.

Um den Bereich einer optischen Emission zu maximieren, muß der Strom über einen größtmöglichen Bereich des p-n-Übergangs fließen. Folglich muß der Strom über einen größtmöglichen Bruchteil der p-Typ-Oberfläche lateral verteilt werden. Die laterale Stromverteilung kann verbessert werden, indem ein Großteil der p-Typ-Oberfläche mit der p-Elektrode bedeckt wird. Die p-Elektrode wird dann vollständig oder teilweise mit einer Verbindungsanschlüsfläche bedeckt.

Verbindungsanschlüsflächen sind leitfähig, um ihre elektrische Funktionalität zu liefern, und müssen dick sein, um ihre mechanische Funktionalität zu erfüllen. Folglich bestehen Verbindungsanschlüsflächen üblicherweise aus Metall. Metallverbindungsanschlüsflächen der erforderlichen Dicke sind lichtundurchlässig. Verbindungsanschlüsflächen, die aus transparenten, leitfähigen Oxiden bestehen, beispielsweise ITO (Indiumzinnoxid) wurden ebenfalls verwendet, sind jedoch nicht üblich.

Ein großer Bruchteil der kommerziell erhältlichen AlInGaN-LEDs extrahieren das erzeugte Licht in dem Bauelement durch die p-Schicht. Diese Bauelemente besitzen eine Verbund-p-Elektrode, beispielsweise ein dünnes, semitransparentes Material für eine Stromverteilung, das den größten Teil der p-Oberfläche abdeckt, und eine dicke, lichtundurchlässige Verbindungsanschlüsfläche, die so wenig wie möglich von der dünnen p-Elektrode abdeckt, während sie noch zuverlässige Verbindungen für die kommerzielle Herstellung liefert. Eine n-Elektrode ist ebenfalls klein gemacht, um den p-Typ-Oberflächenbereich zu maximieren. Ein großer Bruchteil der optischen Emission, die an dem p-n-Übergang erzeugt wird, entkommt durch den Abschnitt

der semitransparenten p-Elektrode, der nicht durch die Verbindungsanschlüsfläche blockiert ist, von dem Bauelement.

In dem U.S.-Patent 5,563,422 wird gelehrt, daß die n- und p-Verbindungsanschlüsflächen diametrisch gegenüberliegend sein sollen, oder an den Ecken des Bauelements angeordnet sein sollen, wie in Fig. 1 gezeigt ist. Der Strom, der von dem Bereich der p-Elektrode: nächstliegend zu der p-Verbindungsanschlüsfläche vertikal zu der n-Schicht hinunterfließt, muß eine große horizontale Strecke in der n-Typ-Halbleiterschicht überqueren, um die n-Elektrode zu erreichen, sobald derselbe den p-n-Übergang vertikal passiert hat. Andererseits muß der Strom, der von dem Bereich der p-Elektrode nächstliegend zu der n-Verbindungsanschlüsfläche vertikal zu der n-Schicht hinunterfließt, eine kleine horizontale Strecke in der n-Typ-Halbleiterschicht überqueren, um die n-Elektrode zu erreichen. Die größere Strecke addiert einen signifikanten Betrag eines Serienwiderstands in der n-Typ-Schicht zu dem erstgenannten Stromweg, was eine Stromansammlung an dem Rand der dünnen p-Elektrode um den n-Kontakt zur Folge hat. Der direkteste Stromweg zwischen den zwei Verbindungsanschlüsflächen ist stark gegenüber allen anderen Wegen (beispielsweise denen, die den Rändern des Bauelements folgen) favorisiert, was bewirkt, daß sich der Strom zwischen den Verbindungsanschlüsflächen sammelt. Die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte nimmt aufgrund des zunehmenden resistiven Spannungsabfalls in der n-Typ-Halbleiterschicht zu, wenn die mittlere Stromdichte zunimmt. Diese Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte bewirkt eine entsprechende Nichtgleichmäßigkeit der Lichtintensität, wie in Fig. 2 gezeigt ist. Der Grad der Stromdichte-Nichtgleichmäßigkeit ist durch ein Verhältnis r der maximalen lokalen Stromdichte  $J_{max}$  zu der mittleren Stromdichte  $J_{ave}$  gezeigt. Um dieses Verhältnis r abzuschätzen, kann man das Verhältnis R der maximalen lokalen Lichtintensität  $I_{max}$  zu der mittleren Lichtintensität  $I_{ave}$  messen, da die Intensität in erster Näherung proportional zu der Stromdichte ist. Solche Messungen werden üblicherweise unter Verwendung einer optischen Vorrichtung durchgeführt, wobei die vorgespannte LED bei Nahfeldbedingungen abgebildet wird. Wie aus Fig. 2 zu sehen ist, ist das Verhältnis R sehr hoch.

Die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte führt zu einer Reduzierung des optischen und elektrischen Verhaltens der LED, speziell für Bedingungen einer hohen mittleren Stromdichte und für LEDs, die mit größeren Abmessungen hergestellt sind. AlInGaN-LEDs zeigen aufgrund des Mechanismus der Lichtemission typischerweise einen abnehmenden Wirkungsgrad der Lichtemission, wenn die mittlere Stromdichte zunimmt. Daher hat die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte Regionen zur Folge, die mit einem geringeren optischen Gesamtwirkungsgrad betrieben werden. Da die irreversible Verschlechterung des Wirkungsgrads der Lichtemission mit einer zunehmenden Stromdichte zunimmt, erhöht die Nichtgleichmäßigkeit der Stromdichte überdies die Gesamtverschlechterungsrate, was bei kommerziellen LEDs, die sich hinsichtlich ihrer kommerziellen Wichtigkeit auf geringe Verschlechterungsraten stützen, ein signifikanter Belang ist.

Ein zusätzlicher Nachteil des Stands der Technik besteht darin, daß die Elektrodenkonfigurationen die Substratfläche ineffizient als lichtemittierendes Material nutzen. Je größer die Fläche des p-n-Übergangs für eine gegebene mittlere Stromdichte J ist, desto größer ist die mittlere Lichtintensität I, die durch die LED erzeugt wird.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein lichtemittierendes Bauelement mit einer gleichmäßigen Lichtemission und einem guten Flächenwirkungsgrad zu schaffen. Diese Aufgabe wird durch ein lichtemittierendes

Bauelement gemäß Anspruch 1 gelöst.

Ein lichtemittierendes Bauelement mit einer verbesserten Elektrodenstruktur weist eine aktive Region auf. Die aktive Region, beispielsweise ein Heteroübergang, besitzt eine p-Typ-Schicht und eine n-Typ-Schicht. Eine n-Elektrode ist mit der n-Typ-Schicht elektrisch verbunden, während eine p-Elektrode mit der p-Typ-Schicht elektrisch verbunden ist. Die p- und die n-Elektrode sind geformt und positioniert, um eine gleichmäßige Stromdichte während des Betriebs zu liefern, und um den Bruchteil der Bauelementfläche zu optimieren, der für eine Lichtemission benutzt wird. Eine gleichmäßige Stromdichte wird erreicht, wenn das Verhältnis der maximalen lokalen Stromdichte  $J_{\max}$  zu der mittleren Stromdichte  $J_{\text{ave}}$  kleiner als 3 ist, vorzugsweise kleiner als 1,5 bis 2. Die gleichmäßige Stromdichte wird durch das Verhältnis der maximalen lokalen Intensität  $I_{\max}$  zu der mittleren Intensität  $I_{\text{ave}}$  über die lichtemittierende Region gemessen.

Verbesserte Elektrodenstrukturen werden erreicht, indem drei Parameter einzeln oder in Kombination geändert werden. Die Faktoren sind die Form des Bauelements, die Form der Elektroden und die Position der Elektroden. Das Bauelement kann eine Kugel, eine Halbkugel oder ein massives Prisma sein, das die Querschnittsfläche eines Polygons, eines Kreises, einer Ellipse oder eines ovalen Körpers besitzt. Jede Elektrode kann als ein Polygon oder als eine runde Form, beispielsweise als ein Kreis, geformt sein. Alternativ kann zumindest eine der zwei Elektroden segmentiert sein, um mehrere Regionen einer gleichmäßigen Stromdichte zu erzeugen. Der mittlere Abstand zwischen den Elektroden ist vorzugsweise geringer als die Länge der n- und der p-Elektrode.

Die verbesserte Elektrodenstruktur hat ein verbessertes "Flächenausnutzungsverhältnis"  $A$  zur Folge.  $A$  ist als das Flächenverhältnis des lichtemittierenden p-n-Übergangs zu der Gesamtfläche des Bauelements,  $A_{\text{tot}}$ , definiert. Die verbesserte Elektrodenstruktur kann daher eine höhere mittlere Intensität  $I_{\text{ave}}$  über die lichtemittierende Region für eine gegebene mittlere Stromdichte  $J_{\text{ave}}$  und eine gegebene Bauelement-Querschnittsfläche ergeben.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend beziehungsweise auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine lichtemittierende Diode (LED) gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 2 ein optisches Nahfeld-Photomikrobild der LED in Fig. 1, die mit 50 mA vorwärts vorgespannt ist;

Fig. 3 eine LED gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4A und 4B alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5A und 5B Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit Verbindungsanschlüssen, die für ein Drahtbonden optimiert sind;

Fig. 6A und 6B optische Nahfeld-Photomikrobilder der LEDs in den Fig. 5A und 5B, die mit 50 mA vorwärts vorgespannt sind;

Fig. 7 einen Vergleich der I-V-Kurven für LEDs, die in den Fig. 1 und 5A und 5B gezeigt sind;

Fig. 8A bis 8H alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer äußeren Elektrode;

Fig. 10 eine schematische Darstellung des Stromflusses bei der LED in Fig. 9;

Fig. 11 einen Vergleich der I-V-Kurven für die LEDs, die in den Fig. 1 und 9 gezeigt sind;

Fig. 12A und 12B optische Nahfeld-Photomikrobilder der LED in Fig. 9, die mit 50 mA bzw. 200 mA vorwärts

vorgespannt ist;

Fig. 13 ein alternatives Ausführungsbeispiel mit interdigitalen äußeren und inneren Elektroden;

Fig. 14 ein schematisches Diagramm des Stromflusses bei der Erfindung gemäß Fig. 13;

Fig. 15 die I-V-Kurven für die LED, die in Fig. 13 gezeigt ist;

Fig. 16 ein optisches Nahfeld-Photomikrobild eines Abschnitts der LED in Fig. 13, die mit 500 mA vorwärts vorgespannt ist;

Fig. 17A und 17B alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 18 ein alternatives Ausführungsbeispiel mit einer äußeren Elektrode, die die lichtemittierende Region vollständig einschließt;

Fig. 19 einen Vergleich der I-V-Kurven für die LEDs, die in den Fig. 1 und 18 gezeigt sind;

Fig. 20 einen Vergleich der optischen P-I-Kurve für die LEDs, die in den Fig. 1 und 18 gezeigt sind;

Fig. 21A bis 21C alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung;

Fig. 22A und 22 B alternative Ausführungsbeispiele mit einer segmentierten äußeren Elektrode; und

Fig. 23A bis 23D Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung, bei denen mehrere isolierte LEDs enthalten und in verschiedenen Serien- und Parallel-Verfahren verbunden sind.

Bei der vorliegenden Erfindung ist das "Flächenausnutzungsverhältnis" einer Oberfläche (Oberseite oder Rückseite) eines lichtemittierenden Bauelements (LED) als das Verhältnis  $A$  des p-n-Übergangs der lichtemittierenden Region zu der Gesamtfläche des Substrats definiert. Für eine gegebene mittlere Stromdichte und für einen gegebenen Wert einer Substratfläche nimmt die Intensität von emittiertem Licht proportional zu dem Verhältnis  $A$  zu. Da die Herstellungskosten stark proportional zu der Substratfläche der LED sind, ist es vorteilhaft, das Flächenausnutzungsverhältnis  $A$  zu maximieren. Kommerziell erhältliche LEDs aus Nicht-AlInGaN-Materialsystemen (mit üblicherweise nur einer Verbindungsanschlusfläche pro Oberfläche) besitzen typische Werte des Flächenausnutzungsverhältnisses  $A = \sim 1,0$ . Bekannte AlInGaN-LEDs, mit beispielsweise beiden Verbindungsanschlüssen auf der gleichen Oberfläche, besitzen Flächenausnutzungsverhältniswerte  $A$  in einem Bereich von 0,25 bis 0,50. Herstellungsbeschränkungen diktiert die Größe der Verbindungsanschlusflächen, beispielsweise  $\sim 0,075 \times 10^{-3}$  bis  $0,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ . Je größer  $A_{\text{tot}}$  für eine gegebene Anzahl von Verbindungsanschlusflächen auf einer Oberfläche ist, desto größer ist das entsprechende  $A$ . Es wäre erwünscht, für den gleichen Bereich von  $A_{\text{tot}}$  (d.h. ohne die höheren Herstellungskosten einzuführen, die eine größere  $A_{\text{tot}}$  begleiten) höhere Verhältnisse  $A$  für AlInGaN-Bauelemente zu erreichen, als die, die gemäß dem Stand der Technik erreicht wurden.

Verbesserte Elektrodenstrukturen werden erreicht, indem drei Parameter einzeln oder in Kombination geändert werden. Die Faktoren sind die Form des Substrats, die Form der Elektroden und die Position der Elektroden. Das Substrat kann eine Kugel, eine Halbkugel oder ein massives Prisma mit einer Querschnittsfläche, die aus der Gruppe ausgewählt ist, die Polygone, beispielsweise Rechtecke, Parallelogramme, Hexagone und Dreiecke, oder Kreise und Ellipsen enthält, ausgewählt ist, sein. Jede Elektrode kann als ein Polygon, beispielsweise ein Rechteck, ein Parallelogramm, ein Dreieck oder als Interdigitalfinger oder als eine runde Form, beispielsweise kreisrund, oval oder quadratisch mit abgerundeten Ecken, geformt sein. Alternativ kann zumindest eine der zwei Elektroden segmentiert sein, um mehrere

Regionen einer gleichmäßigen Stromdichte zu erzeugen. Der mittlere Abstand zwischen den Elektroden ist vorzugsweise geringer als die Länge der n- und der p-Elektrode.

Um die Grundsätze im Betrieb zu zeigen, besitzt ein p-Typ-Halbleitermaterial einen gleichmäßigen spezifischen Widerstand  $p$ , eine Breite  $W$ , eine Länge  $L$  und eine Dicke  $t$ . Der Schichtwiderstand  $R_{\square}$  ist als  $p/t$  definiert. Strom wird von den zwei rechteckigen Elektroden in das Material injiziert. Die Elektroden besitzen eine Breite  $w$  und eine Länge  $l$ . Dieselben sind durch eine Breite  $s$  getrennt, wobei gilt:  $s \leq (L - 2l)$ . Der Stromfluß ist gleichmäßig. Eine ähnliche Flußgleichmäßigkeit kann mit komplexeren Formen erreicht werden, vorausgesetzt, daß der kürzeste Abstand  $s$  von jedem Punkt entlang der inneren Kontur jeder Elektrode konstant gehalten ist. Es kann gezeigt werden, daß der Widerstand  $R$  für den Stromfluß zwischen den zwei Elektroden wie folgt lautet:

$$R = R_{\square} s/w \quad (1).$$

In Gleichung 1 hängt der Gesamtwiderstand  $R$  von dem Schichtwiderstand  $R_{\square}$  und der Geometrie ( $s$ ,  $w$ ) der Elektroden ab. Der Gesamtwiderstand  $R$  ist minimiert, wenn der Abstand  $s$  minimiert ist, während die Breite  $w$  maximiert ist. Die Elektronen müssen eine geringere Strecke in dem n-Typ-Halbleiter horizontal überqueren, bevor sie mit Löchern, die von dem p-Kontakt injiziert werden, rekombinieren. Die vorliegende Erfindung reduziert die mittlere Strecke, die Ladungsträger überqueren, und macht diese Strecke entlang der gesamten Elektroden gleich. Das Reduzieren dieser Strecke verringert den Serienwiderstand des Bauelements und verbessert die elektrischen Gesamtcharakteristika, während die lokale Stromdichte gleichmäßig gemacht wird, indem diese Strecke näherungsweise konstant gehalten wird. Die Elektroden sollten so nahe wie möglich beieinander angeordnet sein. Es ist bevorzugt, daß diese Elektroden einen großen Bruchteil der Kanten des Bauelements bedecken sollten, und daß der Abstand zwischen denselben so gleichmäßig wie möglich sein sollte, um den Strom gleichmäßig zu verteilen, wobei die zugeordneten Vorteile des elektrischen Verhaltens, der Lichtemission und des Zuverlässigkeitsverhaltens, die nachfolgend erklärt werden, auftreten.

Die Elektroden sind die leitfähigen Schichten, die mit dem Halbleitermaterial elektrisch verbunden sind. Eine einfache Elektrode ist im Betrieb eine Äquipotentialoberfläche, deren Spannung beispielsweise an jedem Punkt der Oberfläche gleich ist. Einige Bauelemente erfordern eine Verbundelektrode. Die Verbundelektrode kann eine zusätzliche, sehr dünne, beispielsweise  $\leq 0,2 \mu\text{m}$ , semitransparente, leitfähige Schicht aufweisen (die typischerweise mit einer p-dotierten Schicht mit hohem spezifischen Widerstand und einer dickeren Elektrode oder einer p-Verbindungsanschlußfläche elektrisch verbunden ist), um den Strom zu verteilen und das Licht zu extrahieren. Die dünne Schicht ist ebenfalls eine Elektrode, ist jedoch häufig keine Äquipotentialoberfläche, besitzt beispielsweise einen hohen spezifischen Widerstand und bewirkt signifikante Spannungsdifferenzen zwischen bestimmten Punkten auf ihrer Oberfläche.

Fig. 3 zeigt eine LED der vorliegenden Erfindung. Die LED 10 umfaßt eine aktive Region 12 auf einem optionalen Substrat (nicht gezeigt). Die aktive Region 12, beispielsweise ein Heteroübergang, besitzt eine p-Typ- und eine n-Typ-Halbleiterschicht 12a, 12b. Eine p- und eine n-Elektrode 14a, 14b sind mit der entsprechenden Halbleiterschicht elektrisch verbunden. Die p- und die n-Elektrode 14a, 14b sind geformt und positioniert, um während des Betriebs eine gleichmäßige Stromdichte zu liefern. Fettge-

druckte Linien stellen die inneren Konturen der zwei Elektroden heraus. Die Bauelementstruktur enthält das optionale Substrat, die aktive Region und die Elektroden. Eine gleichmäßige Stromdichte wird erreicht, wenn das Verhältnis der maximalen lokalen Intensität  $I_{\text{max}}$  zu der mittleren Intensität  $I_{\text{ave}}$  geringer als 3 und vorzugsweise geringer als 1,5 bis 2 ist.

Für einfache Elektroden ist es bevorzugt, daß der kürzeste Abstand zwischen den inneren Konturen der Elektroden an jedem Punkt innerhalb von +35% und +150% des mittleren Abstands zwischen den inneren Konturen der Elektroden ist. Für Verbundelektroden ist es bevorzugt, daß der kürzeste Abstand zwischen den inneren Konturen der Verbindungsanschlußflächen an jedem Punkt innerhalb von  $\pm 35\%$  des mittleren Abstands zwischen den inneren Konturen der Verbindungsanschlußflächen ist, und daß der kürzeste Abstand zwischen den Elektroden an jedem Punkt innerhalb von +35% und +150% des mittleren Abstands zwischen den Elektroden ist.

Diese vorteilhaften Merkmale wurden wie folgt abgeleitet. Das durchschnittliche menschliche Auge kann ohne weiteres Unterschiede der Intensität des sichtbaren Lichts wahrnehmen, wenn sich die Intensität über einen Faktor von 3 ändert, unter der Annahme, daß die Intensität die optischen Rezeptoren nicht sättigt. Ein selektives Auge kann Unterschiede über einen Faktor von 2 wahrnehmen. Wenn der Faktor unter 1,5 liegt, können menschliche Augen Intensitätsunterschiede nicht wahrnehmen. Fig. 2 (Stand der Technik) zeigt einen Fall, bei dem ein Lichtgleichmäßigkeits-Intensitätsverhältnis über 3 liegt, während nachfolgende Figuren Fälle mit einem Lichtgleichmäßigkeits-Intensitätsverhältnis unter 3 und in den meisten Fällen unter 1,5 zeigen.

Bei den Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung, die in den Fig. 3 bis 8E gezeigt sind, beträgt die minimale Länge der Elektroden 75% der Länge der Bauelementseiten, auf denen dieselben angeordnet sind. Die maximale Abweichung des Abstands zwischen den inneren Konturen der Verbindungsanschlußflächen beträgt  $\pm 35\%$ . Die maximale Abweichung von dem mittleren Abstand  $s$  zwischen den inneren Konturen der p- und der n-Elektrode beträgt  $\pm 20\%$ . Folglich zeigte keines der Bauelemente, die entsprechend einer Teilmenge der Ausführungsbeispiele, die in den Fig. 3 bis 8H gezeigt sind, hergestellt wurden, Lichtintensitätsverhältnisse über 2 für eine mittlere Stromdichte von  $50 \text{ A/cm}^2$ .

Die Fig. 4A und 4B zeigen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung. Das Bauelement ist ein massives Prisma mit einer Querschnittfläche, die ein Polygon ist. Die p- und die n-Elektrode besitzen eine Länge, die zumindest 65% der Länge von zumindest zwei Seiten des Polygons beträgt. Im Fall eines ovalförmigen Bauelements besitzt zumindest eine der zwei Elektroden eine Länge, die  $\geq 25\%$  der Länge der peripheren Länge des Bauelements ist. Die Elektroden können entweder einfache Elektroden oder Verbundelektroden sein. Die inneren Ränder der Elektroden sind vorzugsweise parallel zueinander. Es ist bevorzugt, daß das Polygon ein Quadrat, ein Hexagon, ein Oktagon, ein Rechteck oder ein Parallelogramm ist.

Das vorteilhafte Merkmal von 65% wurde ausgewählt, um sicherzustellen, daß zumindest ein Drittel der Querschnittfläche des gesamten Bauelements einen gleichmäßigen Stromfluß aufweisen wird, wodurch im schlechtesten Fall ein Lichtintensitätsverhältnis  $< 3$  garantiert ist. Das vorteilhafte Merkmal von  $\pm 35\%$  für Abweichungen von dem mittleren Abstand zwischen den Verbindungsanschlußflächen von Verbundelektroden wurde aus ähnlichen Gründen ausgewählt.

Die Fig. 5A und 5B zeigen alternative Ausführungsbeispiele, die eine Verbundelektrode aufweisen. Die Verbindungsanschlusßfläche der Verbundelektrode ist für ein Drahtbonden, beispielsweise ein Kugelbonden oder ein Keilbonden, für ein Löten oder für eine Befestigung mit einem leitfähigen Medium geeignet. Die Elektroden sind von dem Verbindungsanschlusßflächenbereich weg verjüngt, um die Größe des Lichtemissionsbereichs zwischen den Verbindungsanschlusßflächen zu erhöhen. Bei dem Ausführungsbeispiel, das in Fig. 5B gezeigt ist, ist die Länge der inneren Ränder der Elektroden größer als der mittlere Abstand zwischen den Elektroden. Diese Konfiguration verringert den elektrischen Widerstand des Bauelements.

Die Fig. 6A und 6B zeigen optische Nahfeld-Photomikrobilder der LEDs, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, wenn dieselben mit einem Strom von 50 mA vorwärts vorgespannt sind. Es existiert eine gleichmäßige Intensität über der lichtemittierenden Region des Bauelements. Im Unterschied zu Fig. 2 ist keine Stromansammlung in der Nähe des Zwischenraums zwischen den zwei Elektroden zu sehen, wobei keine Unterschiede der Lichtintensität in dem Bereich, der durch die dünne Elektrode bedeckt ist, zu sehen ist.

Fig. 7 vergleicht die I-V-Kurven für die LEDs, die in den Fig. 1 und 5A und 5B gezeigt sind. Fig. 1 entspricht der "herkömmlichen LED". Fig. 5A entspricht "Ausführungsbeispiel #1" während Fig. 5B "Ausführungsbeispiel #2" entspricht. Zwei AlInGaN-Wafer wurden in Hälften geteilt. Ein Satz von Hälften wurde mit Bauelementen entsprechend Fig. 1 hergestellt, während der andere Satz entsprechend den Bauelementen, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, hergestellt wurde. Jedes der Bauelemente besitzt die gleiche Gesamtquerschnittsfläche, beispielsweise  $\sim 1,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ . Typische I-V-Kurven sind für Bauelemente gezeigt, die so nahe wie möglich beieinander auf beiden Seiten der Waferunterteilung ausgewählt sind. Die y-Achse zeigt den Treiberstrom  $I_f$ , während die x-Achse die Treiberspannung  $V_f$  zeigt. Die Neigung der Kurven bei hohen Strömen ist näherungsweise umgekehrt proportional zu dem Serienwiderstand des Bauelements. Fig. 7 zeigt die Reduzierung des Serienwiderstands von AlInGaN-LEDs gemäß den Fig. 5A und 5B. Diese Bauelemente besitzen einen um  $\sim 10\%$  ( $R_S = 19,9 \text{ f}\Omega$  für "Ausführungsbeispiel #1" bis  $20\%$  ( $R_S = 17,3 \text{ }\Omega$  für "Ausführungsbeispiel #2" geringeren Serienwiderstand als der herkömmliche Chip ( $R_S = 21,3 \text{ }\Omega$ ), wobei alle anderen Aufwuchs- und Herstellungs-Parameter gleich sind. Diese Verbesserung des Serienwiderstands ist eine Vergrößerung von 0,2 bis 0,3 V der Betriebsspannung für einen Treiberstrom von 50 mA, was mittlere Spannungen bei diesem Strom für Bauelemente gemäß den Fig. 5A und 5B ergibt, die vergleichbar mit der mittleren Spannung eines bekannten Bauelements von Fig. 1, das bei 20 mA betrieben wird, ist. Das bessere elektrische Verhalten des "Ausführungsbeispiels #2" wird erwartet, da die Trennung zwischen Elektroden viel kleiner ist als die Länge derselben. Bei hohen Treiberströmen ist die Verbesserung der Treiberspannung aufgrund des kleineren  $R_S$  sogar drastischer. Bei geringeren Treiberströmen ist der Einfluß von  $R_S$  reduziert, wobei Verbesserungen von  $V_f$  aufgrund der Verbesserungen der lokalen Stromdichtegleichmäßigkeit jedoch noch zu sehen sind. Eine Vorwärtsspannung von 3,25 V wurde bei einem Treiberstrom von 20 mA für Bauelemente der Fig. 5A und 5B gemessen, während für ein Bauelement der Fig. 1 3,4 V gemessen wurden.

Bei einem weiteren Satz von ähnlichen Experimenten, die mit AlInGaN-Material, das zu einem späteren Zeitpunkt aufgewachsen wurde, durchgeführt wurden, wurde ein ähnlicher Satz von Daten und Schlußfolgerungen erhalten. Mit-

telwerte von 3,05, 2,85 und 3,35 V wurden bei einem Vorwärtstreiberstrom von 20 mA für die Bauelemente, die in den Fig. 5A, 5B bzw. 1 gezeigt sind, erhalten. Mittelwerte von 3,65, 3,35 und 4,15 V wurden bei einem Vorwärtstreiberstrom von 50 mA für die Bauelemente, die in den Fig. 5A, 5B bzw. 1 gezeigt sind, erhalten.

Das "Flächenausnutzungsverhältnis" wird für das Bauelement in Fig. 5A ( $A_{\text{tot}} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ ) als 60% berechnet, eine Verbesserung gegenüber Bauelementen, die mit einer Geometrie, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, hergestellt sind, welche typischerweise für einen gleichartigen Wert von  $A_{\text{tot}}$  ein Verhältnis von zwischen 25 und 50% zeigt. Die Bauelemente, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, sind mit herkömmlichen Halbleiterherstellungstechniken, die mit einer Massenherstellung konsistent sind, hergestellt. Das Flächenausnutzungsverhältnis A kann verbessert werden, indem verjüngte Arme mit einer kleineren Breite definiert werden, indem die Fläche der Verbindungsanschlusßflächen geschrumpft wird, und indem strengere Toleranzen verwendet werden. Obwohl die Ausführungsbeispiele, die in den Fig. 5A und 5B gezeigt sind, als ein drahtgebondetes Bauelement dargestellt sind, können die Bauelemente in einer Flip-Chip-Konfiguration hergestellt sein.

Die Fig. 8A bis 8H zeigen alternative Ausführungsbeispiele der Erfindung. Die Elektroden können einfache Elektroden oder Verbundelektroden sein. Für jedes Ausführungsbeispiel steuert die Querschnittsfläche des Bauelements die Stromdichte. In Fig. 8A ist die Querschnittsfläche ein Parallelogramm. In Fig. 8B ist die Querschnittsfläche abgerundet, beispielsweise elliptisch, kreisförmig oder sphärisch. In Fig. 8C ist die Querschnittsfläche hexagonal. In Fig. 8D ist die Querschnittsfläche ein unregelmäßiges Polygon. In Fig. 8E ist die Querschnittsfläche ein Parallelogramm mit verjüngten Verbindungsanschlusßflächen. Für die Fig. 8A bis 8E sind die inneren Konturen der Elektroden parallel zueinander, jedoch nicht notwendigerweise parallel zu den Seiten der Querschnittsfläche des Bauelements.

In Fig. 8F ist die Querschnittsfläche hexagonal und weist zumindest eine Verbundelektrode auf. Die Verbindungsanschlusßfläche der Verbundelektrode befindet sich in der Nähe der Ecke des Hexagons. Fig. 8G zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel für das Bauelement, das in Fig. 8F gezeigt ist. Die Querschnittsfläche ist ein Polygon mit sieben oder mehr Seiten, oder optional elliptisch oder kreisförmig. Fig. 8H zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel für das Bauelement, das in Fig. 8F gezeigt ist. Die Querschnittsfläche ist ein Polygon mit fünf oder weniger Seiten. In den Fig. 8F bis 8H sind die inneren Elektroden nahezu parallel zueinander, sind jedoch nicht parallel zu den Seiten der Querschnittsfläche.

Die Fig. 3 bis 8 zeigen Ausführungsbeispiele, die Stromdichte-Gleichmäßigkeitsverhältnisse und zugeordnete Lichtintensitäts-Gleichmäßigkeitsverhältnisse  $\leq 2$  erzeugen, ebenso wie Flächenausnutzungsverhältnisse  $\leq 50\%$ , für Gesamtquerschnittsflächen von weniger als  $2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ . Wenn die Querschnittsfläche  $\geq 1 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ , ergeben die nachfolgend offenbarten Ausführungsbeispiele sogar noch geringere Gleichmäßigkeitsverhältnisse und sogar noch höhere Flächenausnutzungsverhältnisse.

Fig. 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel mit einem Substrat mit einem rechteckigen Querschnitt und Abmessungen von  $0,3 \times 0,4 \text{ mm}^2$ , einschließlich einer Verbundelektrode, die mit der n-Typ-Halbleiterschicht verbunden ist, die drei Seiten des Umfangs des Substrats umschließt, mit einer verbundenen Verbindungsanschlusßfläche. Diese n-Elektrode ist eine äußere oder Einschlusselektrode, die zwei äußere und N innere Arme aufweist, wobei  $N \geq 0$ , sowie einen Querbalken, der die zwei äußeren und die N inneren Arme verbind-

det. Der Vorsprung der äußeren Arme umhüllt zumindest 75%, vorzugsweise 100%, der lichtemittierenden Region. Eine zweite Verbundelektrode ist mit den p-Typ-Halbleiterschichten verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region zu verteilen, und einer Verbindungsanschlusfläche. Die Verbindungsanschlusflächen können bei diesem Ausführungsbeispiel mit einem Durchmesser von näherungsweise 0,1 mm drahtgebondet sein. Die lichtemittierende Region ist vollständig in den Vorsprung der äußeren Arme eingeschlossen.

Die äußere Einschluslektrode verbessert die Gleichmäßigkeit der Stromdichte und verringert den Serienwiderstand des Bauelements. Fig. 10 zeigt eine Querschnittansicht der LED von Fig. 9. Die Arme der äußeren Elektrode liefern zwei separate Wege für den Stromfluß, um die Stromgleichmäßigkeit durch ein effektives Reduzieren der mittleren Stromdichte zu verbessern. Zusätzlich führt die mittlere Strecke, die der Strom in der n-Typ-Halbleiterschicht lateral überqueren muß, zu einer Reduzierung des Serienwiderstands in dem lichtemittierenden Bauelement. Fig. 11 vergleicht die I-V-Kurven des Bauelements, das in Fig. 9 gezeigt ist, mit dem bekannten Bauelement, das in Fig. 1 gezeigt ist. Das Bauelement von Fig. 9 zeigt eine reduzierte Betriebsspannung, die als die Spannung definiert ist, die erforderlich ist, um 20 mA in einer Vorwärtsrichtung durch das Bauelement zu injizieren, und einen wesentlich reduzierten Serienwiderstand, wie durch die Neigung der I-V-Beziehung gezeigt wird. Werte der Vorwärtsspannung und des Serienwiderstands sind 2,86 V und 9,6  $\Omega$  für das Bauelement von Fig. 9 und 3,19 V und 21,6  $\Omega$  für Bauelemente, die gemäß Fig. 1 hergestellt sind. Die Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Stromdichte ist aus den Fig. 12A und 12B erkennbar, die optische Nahfeld-Photomikrobilder von LEDs nach Fig. 9 zeigen, wenn dieselben mit 50 mA bzw. 200 mA vorwärts vorgespannt sind. Diese Figuren zeigen keine wahrnehmbare Nichtgleichmäßigkeit der Emissionsintensität, im Gegensatz zu dem gleichartigen Photomikrobild des Bauelements nach Fig. 1, das in Fig. 2 gezeigt ist.

Das Flächenausnutzungsverhältnis wird für das Bauelement nach Fig. 9A als 55% berechnet, eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem Bauelement von Fig. 1. Das Bauelement, das in Fig. 9 gezeigt ist, wird mit Standardhalbleiter-Herstellungstechniken hergestellt, die mit einer Massenerstellung konsistent sind. Das Flächenausnutzungsverhältnis könnte wesentlich verbessert werden, indem Arme mit einer kleineren Breite definiert und engere Toleranzen verwendet werden. Obwohl das Ausführungsbeispiel von Fig. 9 als ein drahtgebondetes Bauelement gezeigt ist, kann die LED in einer Flip-Chip-Konfiguration hergestellt werden. Zu Zwecken dieser Erfindung werden als Arme einzelne oder mehrere verbundene Elektroden einer willkürlichen Form betrachtet.

Fig. 13 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, das ein Substrat mit einem quadratischen Querschnitt und Abmessungen von 1,0  $\times$  1,0 mm<sup>2</sup> aufweist, und das eine Verbundelektrode besitzt, die mit der n-Typ-Halbleiterschicht verbunden ist und drei Seiten des Umfangs des Substrats einhüllt, mit zwei Verbindungsanschlusflächen. Eine zweite Verbundelektrode ist mit den p-Typ-Halbleiterschichten verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region und zwei Verbindungsanschlusflächen zu verteilen. Die Verbindungsanschlusflächen sind für ein Drahtbonden mit einem Durchmesser von näherungsweise 0,1 mm bestimmt. Mehrere Verbindungsanschlusflächen sind zu Zwecken einer Redun-

danz und zum Betrieb mit einem hohen Betriebsstrom an beiden Elektroden angebracht. Die lichtemittierende Region ist vollständig innerhalb des Vorsprungs der Arme der äußeren Elektrode enthalten. Die äußeren Einschluslektroden dienen dazu, die Gleichmäßigkeit der Stromdichte zu verbessern und den Serienwiderstand der LED zu verringern.

Fig. 14 zeigt eine Teilquerschnittansicht der LED in Fig. 13. Die Arme der äußeren Elektrode liefern zwei getrennte Wege für den Stromfluß, um die Stromgleichmäßigkeit durch wirksames Reduzieren der mittleren Stromdichte zu verbessern. Die kleinere mittlere Strecke, die der Strom lateral in der n-Typ-Halbleiterschicht zurücklegen muß, führt zu einer Reduzierung des Serienwiderstands der LED. Die mehreren parallelen Arme führen zu zusätzlichen Wegen, die den Serienwiderstand der LED weiter reduzieren.

Fig. 15 zeigt die I-V-Beziehung für das Bauelement, das in Fig. 13 gezeigt ist, und offenbart eine Betriebsspannung von 2,92 V bei einem Vorwärtsstrom von 240 mA und einem Serienwiderstand von 1,2  $\Omega$ . Die Gleichmäßigkeit der Stromdichte wird aus Fig. 16 offensichtlich, einem optischen Nahfeld-Photomikrobild eines Abschnitts der lichtemittierenden Region, die bei einem Vorwärtsstrom von 500 mA betrieben ist. Keine wahrnehmbare Ungleichmäßigkeit der Intensität zeigt sich bei der Emission bei diesem Strom, der einer Stromdichte von  $\sim 70$  A/cm<sup>2</sup> entspricht.

Das Flächenausnutzungsverhältnis für diese LED mit 1  $\times$  1 mm<sup>2</sup>, die in Fig. 13 gezeigt ist, wird als 74% berechnet. Das Bauelement wird mit Standardhalbleiter-Herstellungstechniken, die mit einer Massenerstellung konsistent sind, hergestellt. Das Flächenausnutzungsverhältnis könnte wesentlich verbessert werden, indem Arme mit kleineren Breiten definiert und strengere Toleranzen verwendet werden. Obwohl das Ausführungsbeispiel, das in Fig. 13 gezeigt ist, als ein drahtgebondetes Bauelement gezeigt ist, kann die LED in einer Flip-Chip-Konfiguration hergestellt werden.

Obwohl die Ausführungsbeispiele, die in den Fig. 9 und 13 dargelegt sind, für spezifische Substrat-Größen und -Formen gezeigt sind, könnten einfache Verfahrens- und Entwurfs-Erwägungen verwendet werden, um LEDs in einem breiten Bereich herzustellen, die mit gegenwärtigen Herstellungsfähigkeiten konsistent sind. Die Fig. 17A und 17B zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung.

Fig. 18 zeigt ein Bauelement gemäß der vorliegenden Erfindung mit einer Verbundelektrode, die mit der n-Typ-Halbleiterschicht verbunden ist, die alle vier Seiten des Umfangs des rechteckigen Substrats vollständig umgibt. Diese n-Elektrode wird als eine äußere oder Voll-Einschluslektrode bezeichnet, und besitzt eine einzelne Verbindungsanschlusfläche. Eine zweite Verbundelektrode ist mit den p-Typ-Halbleiterschichten verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region und eine einzelne Verbindungsanschlusfläche zu verteilen. Die Verbindungsanschlusflächen sind bei diesem Ausführungsbeispiel für ein Drahtbonden bestimmt und besitzen einen Durchmesser von 0,1 mm. Die lichtemittierende Region ist vollständig innerhalb der äußeren Elektrode eingeschlossen. Andere Ausführungsbeispiele können mehrere Verbindungsanschlusflächen enthalten.

Die äußere Voll-Einschluslektrode verbessert die Gleichmäßigkeit der Stromdichte und verringert den Serienwiderstand der LED. Fig. 19 zeigt eine Darstellung der I-V-Beziehung für die Bauelemente der Fig. 1 und 18 mit vier unterschiedlichen Substratgrößen. Die Substratgrößen sind: 0,35  $\times$  0,35 mm<sup>2</sup>, 0,50  $\times$  0,50 mm<sup>2</sup>, 0,70  $\times$  0,70 mm<sup>2</sup> und 0,85  $\times$  0,85 mm<sup>2</sup>. Die Bauelemente von Fig. 18 zeigen alle eine reduzierte Betriebsspannung jeweils bei Strömen von

mehr als 20 mA und einen wesentlich kleineren Serienwiderstand als Bauelemente gleicher Größe, die mit einer Geometrie, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, hergestellt sind. Werte für die Vorwärtsspannung bei 200 mA und einen Serienwiderstand sind 4,0 V und  $3,6 \Omega$  für das Bauelement von Fig. 18 auf einem  $0,85 \times 0,85$ -mm<sup>2</sup>-Substrat und 5,5 V und  $10 \Omega$  für das Bauelement von Fig. 1 mit den gleichen Abmessungen.

Die äußere Voll-Einschluß-Elektrode von Fig. 18 verbessert die Gleichmäßigkeit der Stromdichte und die optische Ausgangsleistung von Bauelementen mit einer minimalen Substratgröße. Fig. 20 zeigt eine Darstellung der Beziehung von optischer Ausgangsleistung zu Strom (P-I) für die Bauelemente der Fig. 1 und 18 für vier Substratgrößen. Alle Bauelemente wurden in ein Epoxidgehäuse des gleichen Typs eingekapselt. Oberhalb 150 mA emittieren die zwei größten Bauelemente von Fig. 18 deutlich mehr optische Ausgangsleistung als die zwei größten Bauelemente von Fig. 1. Diese Zunahme der optischen Ausgangsleistung findet aufgrund der verbesserten Gleichmäßigkeit der Stromdichte des Bauelements, das in Fig. 18 gezeigt ist, im Gegensatz zu der des Bauelements von Fig. 1 statt. Die Fig. 21A bis 21C zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung. Zu Zwecken dieser Erfindung werden Vorsprünge als einzelne oder mehrere verbundene Elektroden einer willkürlichen Form betrachtet.

Die Fig. 22A und 22B zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit mehreren Verbundelektroden, die mit dem n-Typ-Halbleiter verbunden sind. Jede Verbundelektrode umfaßt Arme, um eine gleichmäßige Stromverteilung zu verbessern, und angebrachte Verbindungsanschlußflächen. Diese Vielzahl von n-Elektroden wird als segmentierte äußere Elektrode bezeichnet. Eine zweite Verbundelektrode ist mit der p-Typ-Halbleiterschicht verbunden. Dieselbe besteht aus einer semitransparenten Metallschicht, um den Strom über einen Großteil der lichtemittierenden Region und eine einzelne Verbindungsanschlußfläche zu verteilen. Die Verbindungsanschlußflächen können drahtgebondet sein und einen Durchmesser von 0,1 mm aufweisen. Die lichtemittierende Region ist vollständig innerhalb des Vorsprungs der äußeren Elektrode eingeschlossen. Die segmentierte äußere Elektrode liefert eine optimale gleichmäßige Stromverteilung, im Einklang mit einer minimalen Menge eines lichtundurchlässigen Materials, das den optischen Wirkungsgrad der LED reduziert.

Die Fig. 23A bis 23D zeigen alternative Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit mehreren unabhängigen lichtemittierenden Regionen, die auf dem gleichen Substrat enthalten sind, und die auf verschiedene Arten elektrisch verbunden sind, um einen großen Bereich von I-V-Beziehungen zu liefern. Die Verbindungsmetallisierung kann durch eine Mehrebenen-Herstellungstechnik hergestellt sein. Diese Geometrie ermöglicht die Realisierung von Bauelementen mit willkürlichen inkrementalen Einheitsflächen unter Verwendung der gleichen Waferherstellungsprozesse.

#### Patentansprüche

1. Lichtemittierendes Bauelement mit folgenden Merkmalen:  
einer Bauelementstruktur;  
einem Heteroübergang (12) in der Bauelementstruktur, der eine p-Typ- und eine n-Typ-Halbleiterschicht (12a, 12b) aufweist;  
zwei Elektroden (14a, 14b), wobei eine der zwei Elektroden mit der p-Typ-Halbleiterschicht elektrisch verbunden ist, während die andere der zwei Elektroden mit der n-Typ-Halbleiterschicht elektrisch verbunden

ist,  
wobei der kürzeste Abstand zwischen den inneren Konturen der Elektroden an jedem Punkt zwischen +35% bis +150% des Mittelwerts des Abstands zwischen den Elektroden variiert,  
wobei die Länge von zumindest einer der zwei Elektroden  $\geq 65\%$  der Länge einer Seite des Bauelements ist; und

zumindest einer Region mit einem gleichmäßigen Lichtintensitätsverhältnis  $< 3,0$  bei einer mittleren Stromdichte von  $\geq 30 \text{ A/cm}^2$ , wobei ein gleichmäßiges Lichtintensitätsverhältnis als das Verhältnis der maximalen lokalen Lichtintensität  $I_{\text{max}}$  zu der mittleren Lichtintensität  $I_{\text{ave}}$  definiert ist.

2. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, bei dem:

die Bauelementstruktur ein massives Prisma mit einer Querschnittsfläche ist; und  
die Länge der zwei Elektroden  $\geq 65\%$  der Länge von einer Seite der Querschnittsfläche ist.

3. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, bei dem:

die Querschnittsfläche des Bauelements ein Polygon ist; und

die Länge der zwei Elektroden  $\geq 65\%$  der Länge von zumindest zwei Seiten des Polygons ist.

4. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 3, bei dem die inneren Konturen der zwei Elektroden parallel zu den Seiten des Polygons sind.

5. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 3 oder 4, bei dem die inneren Konturen der zwei Elektroden parallel zueinander sind.

6. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, bei dem das Polygon aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Quadrate, Hexagone, Oktagone, Rechtecke, Trapezoide und Parallelogramme enthält.

7. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem jede der zwei Elektroden folgende Merkmale aufweist:

einen Drahtbondbereich (14a, 14b); und  
wobei die Form der Elektroden von dem Drahtbondbereich weg verjüngt ist.

8. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 2 bis 7, bei dem:

die Form der Querschnittsfläche aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Kreise, Ellipsen und Ovale enthält; und  
zumindest eine der zwei Elektroden eine Länge besitzt, die  $\geq 25\%$  der Länge der Umfangslänge des Bauelements beträgt.

9. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, bei dem das Volumen der Bauelementstruktur aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Kugeln und Halbkugeln enthält.

10. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem eine der zwei Elektroden (14a, 14b) eine Einschlußelektrode ist, die eine Form besitzt, die 100% des lichtemittierenden Bereichs einschließt.

11. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 10, bei dem die Form der Einschlußelektrode (14a, 14b) aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Rechtecke, Kreise, Quadrate, Parallelogramme, Ellipsen und Ovale enthält.

12. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 10, bei dem die Form der Einschlußelektrode (14a, 14b) Vorsprünge umfaßt, die wirksam sind, um einen Strom in einer entsprechenden Halbleiterschicht zu



verteilen.

13. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, das ferner eine Mehrzahl von n- und p-Elektroden (14a, 14b) aufweist, die positioniert sind, um Q elektrisch verbundene Regionen,  $Q \geq 2$ , zu definieren und den lichtemittierenden Bereich einzuhüllen. 5

14. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 13, bei dem die Q elektrisch verbundenen Regionen unter Verwendung einer Mehrebenenmetallisierung verbunden sind. 10

15. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 1, wobei eine der zwei Elektroden (14a, 14b) ferner zwei äußere Arme und N innere Arme aufweist, wobei  $N \geq 0$ , sowie einen Querbalken, der die zwei äußeren und N inneren Arme verbindet, wobei der Vorsprung der zwei äußeren Arme 75% oder mehr der lichtemittierenden Region einschließt. 15

16. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 15, das ferner Verbindungsanschlußflächen (14a, 14b), die zwischen den zwei äußeren und N inneren Armen angeordnet sind, aufweist. 20

17. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 16, bei dem die andere der zwei Elektroden (14a, 14b) als eine Gabel mit M Zinken geformt ist, wobei  $M \geq 1$ . 25

18. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 17, bei dem die M Zinken zwischen den zwei äußeren und N inneren Armen angeordnet sind. 30

19. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 18, bei dem der Abstand zwischen den N inneren Armen und den M Zinken konstant ist. 35

20. Lichtemittierendes Bauelement gemäß Anspruch 17, bei dem der Vorsprung der zwei äußeren Arme 100% der lichtemittierenden Region einhüllt. 40

21. Lichtemittierendes Bauelement gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, das ferner folgende Merkmale aufweist: 45

ein Flächenausnutzungsverhältnis von zumindest 60%, das als das Verhältnis der Fläche der lichtemittierenden Region zu der Gesamtfläche der Bauelementstruktur definiert ist; und 50

wobei die Fläche der Bauelementstruktur  $\geq 0,2 \text{ mm}^2$  ist. 55

Hierzu 30 Seite(n) Zeichnungen 60

65

70

75

80

85



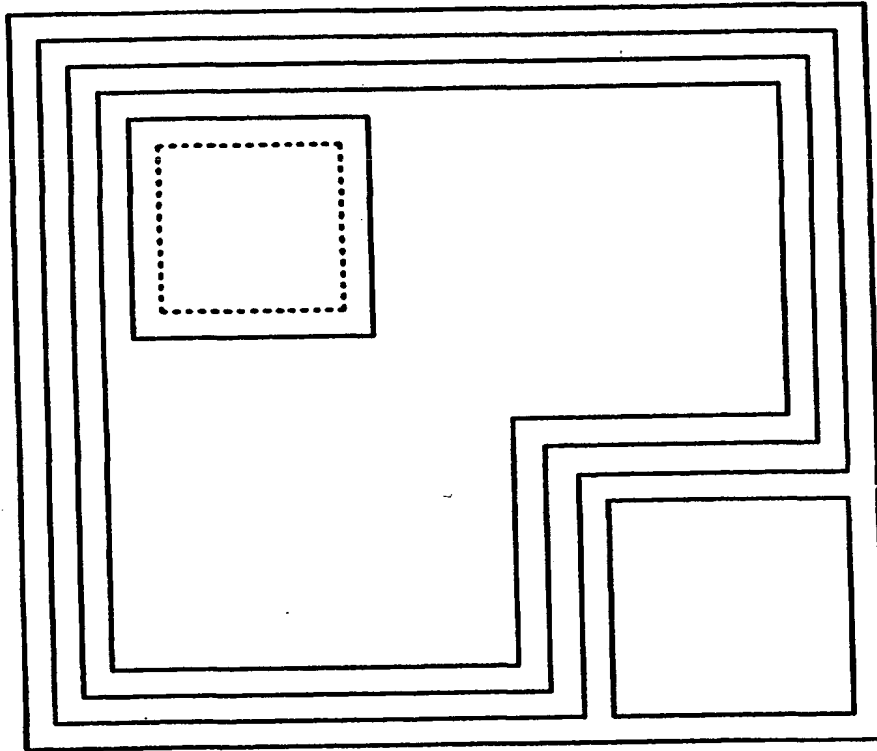


FIG. 1

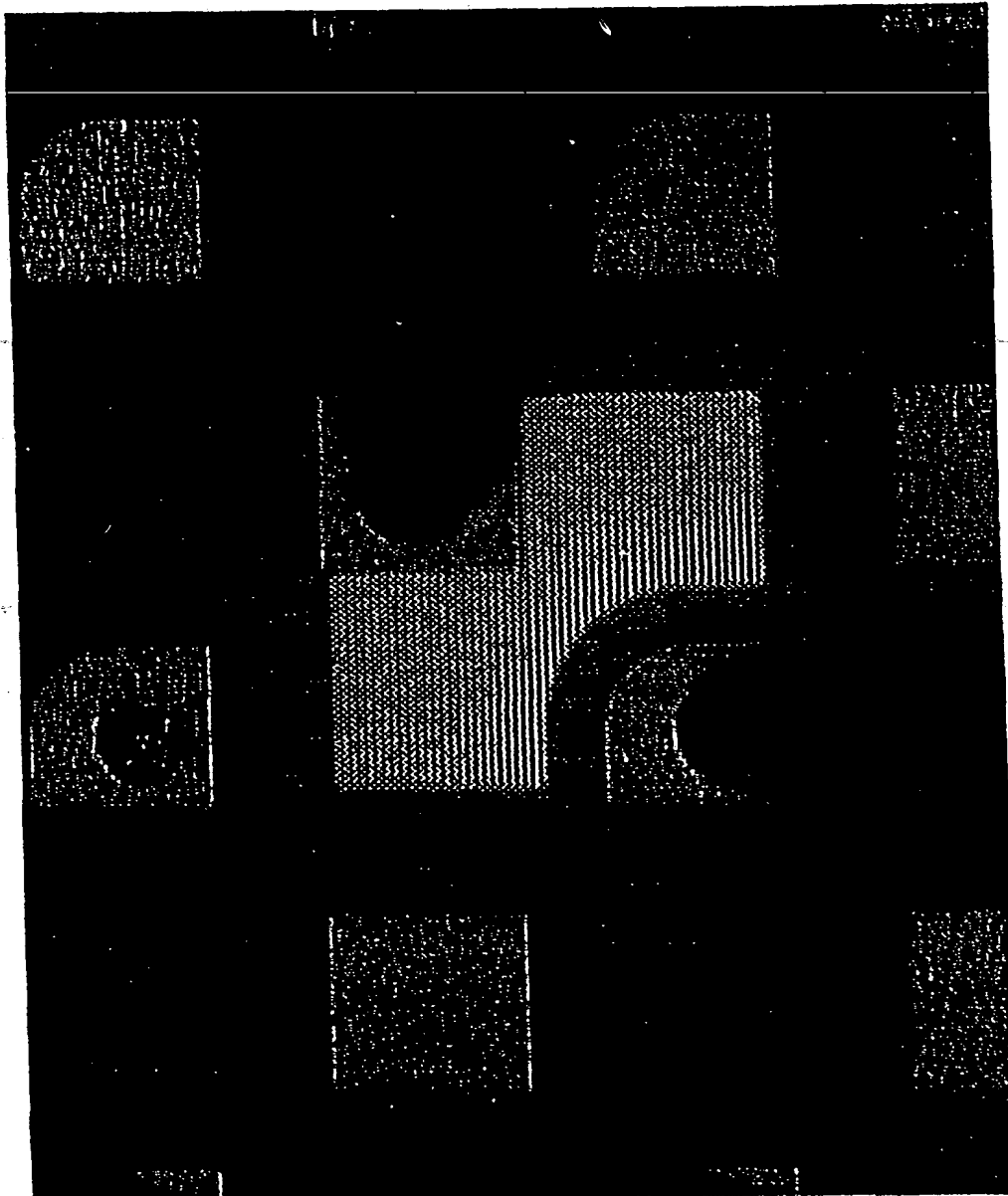


FIG. 2

10

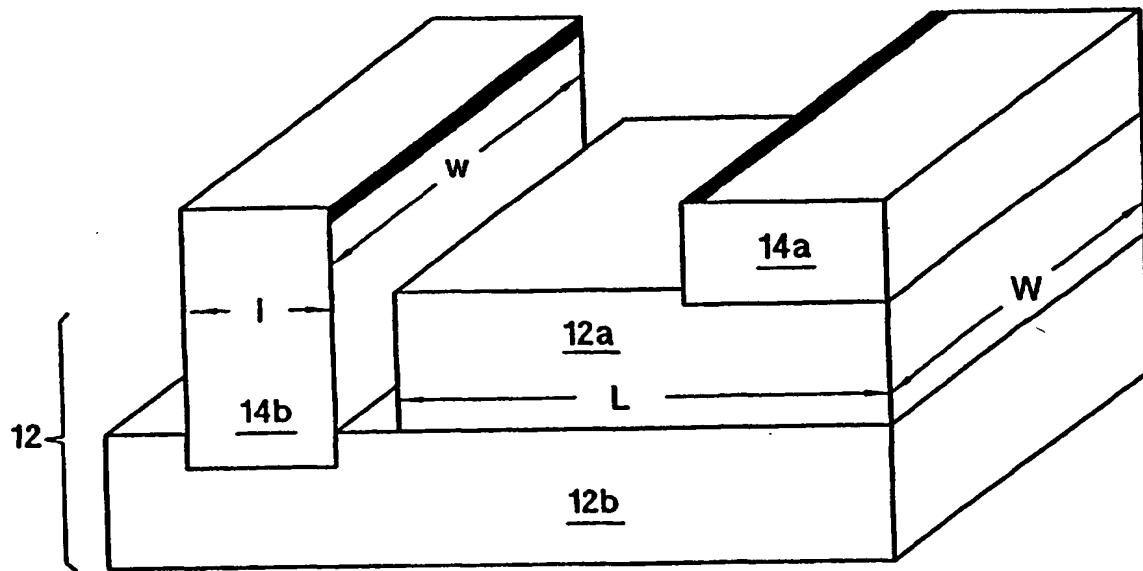


FIG. 3

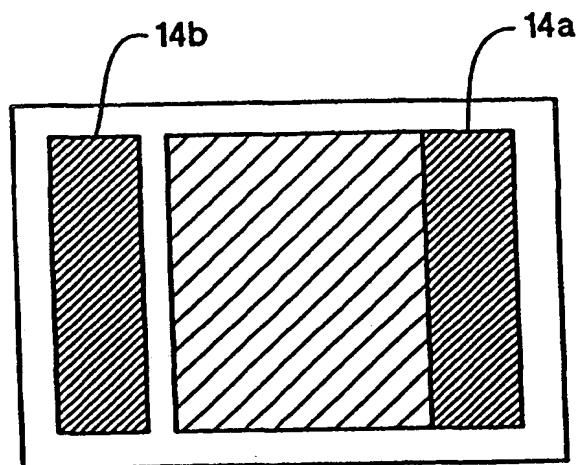


FIG. 4A

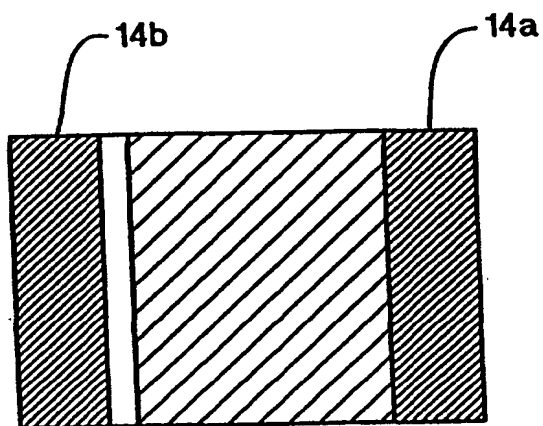


FIG. 4B

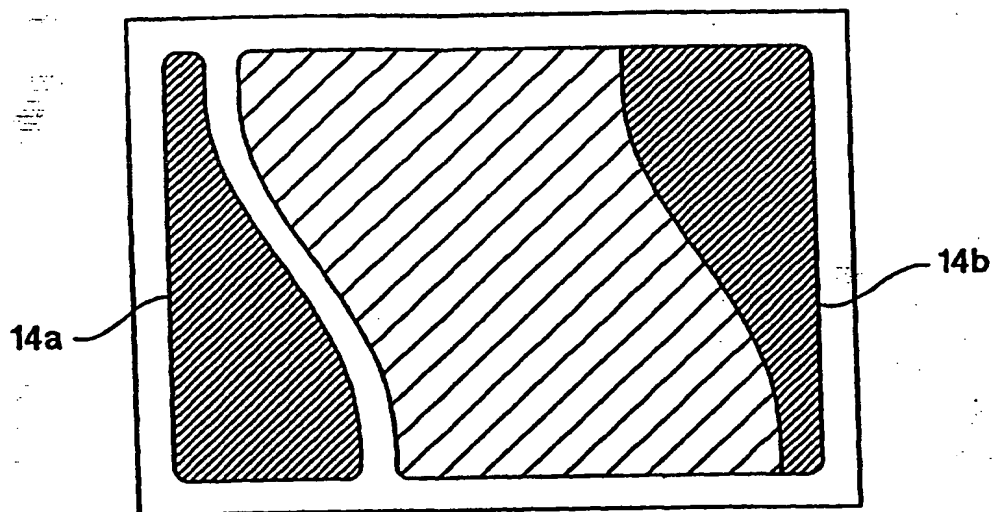


FIG. 5A

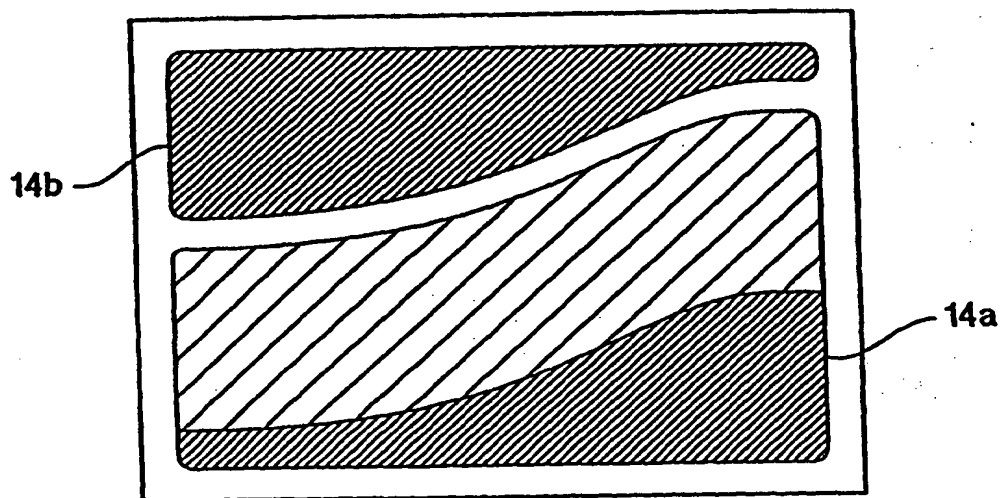


FIG. 5B

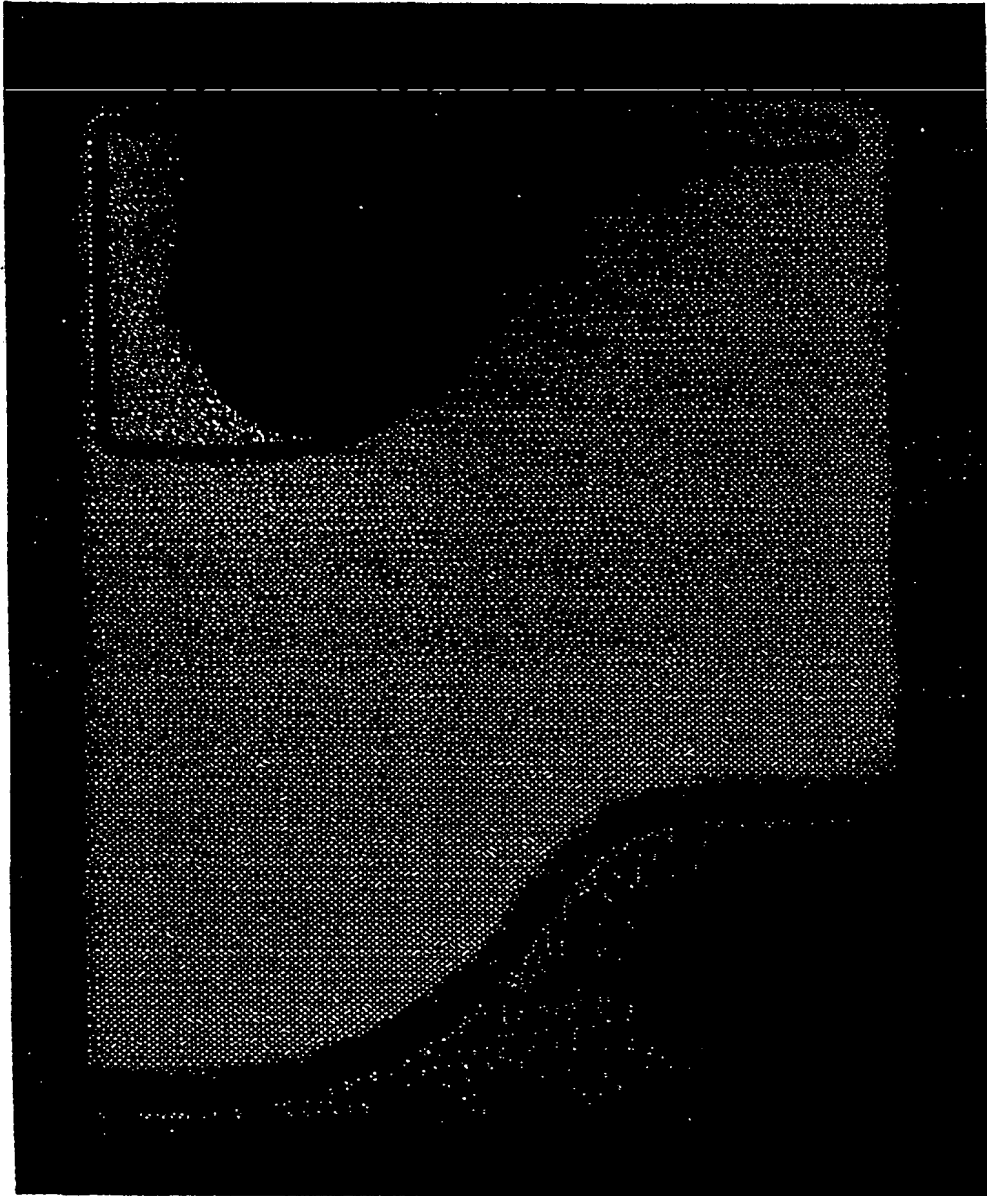


FIG. 6A

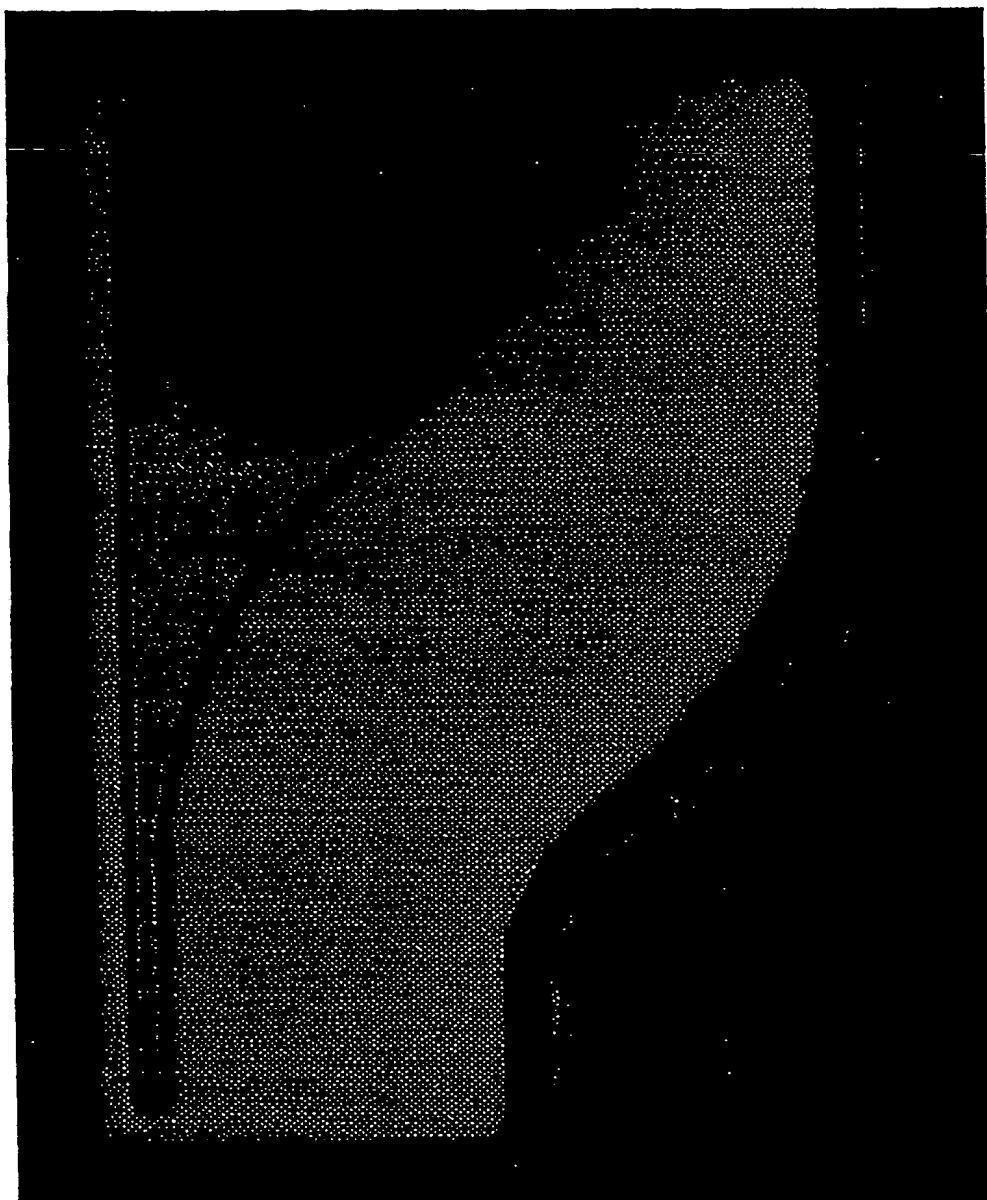


FIG. 6B



## AlInGaN-LED-STROM-SPANNUNGS-KURVEN

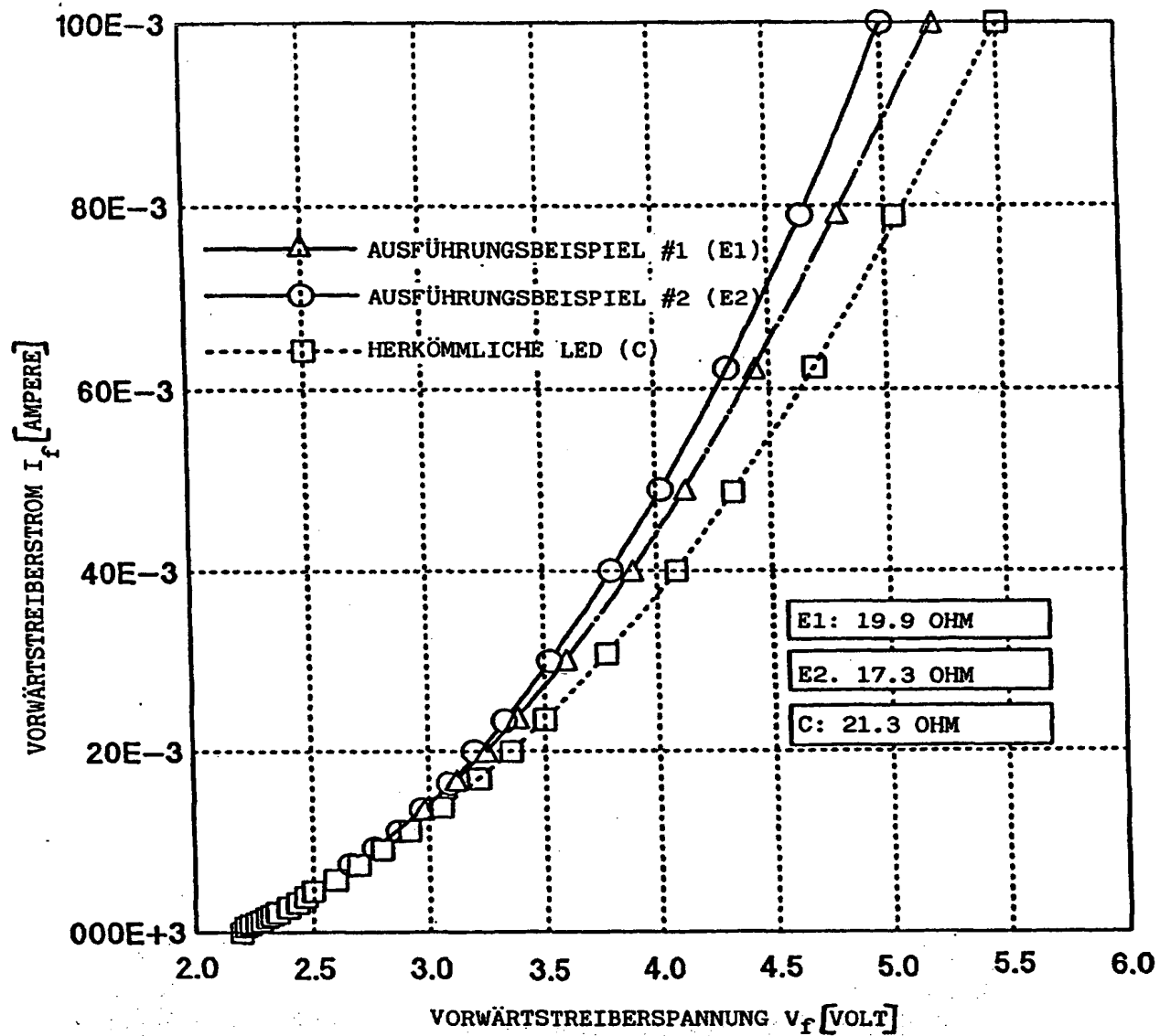


FIG. 7

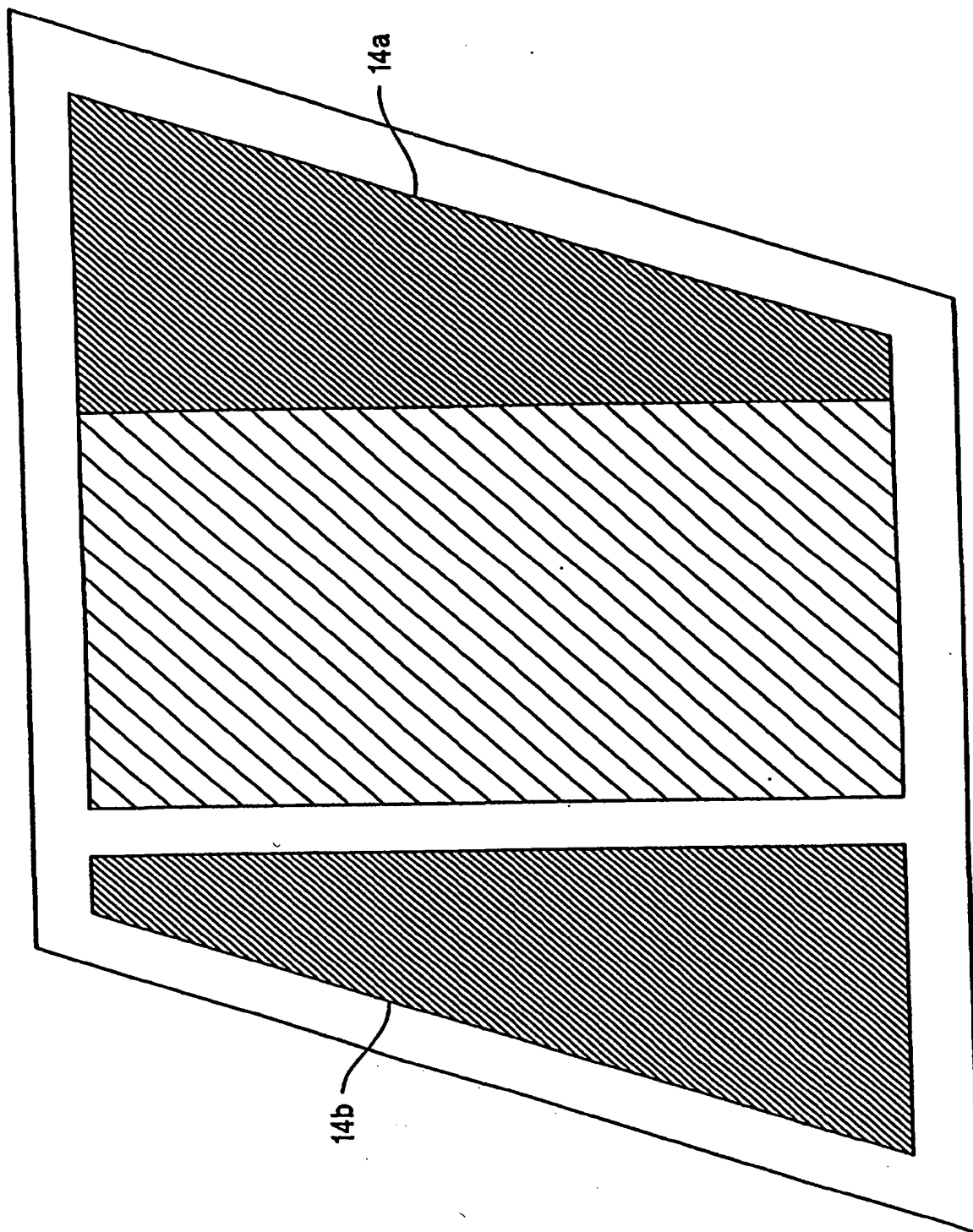


FIG. 8A

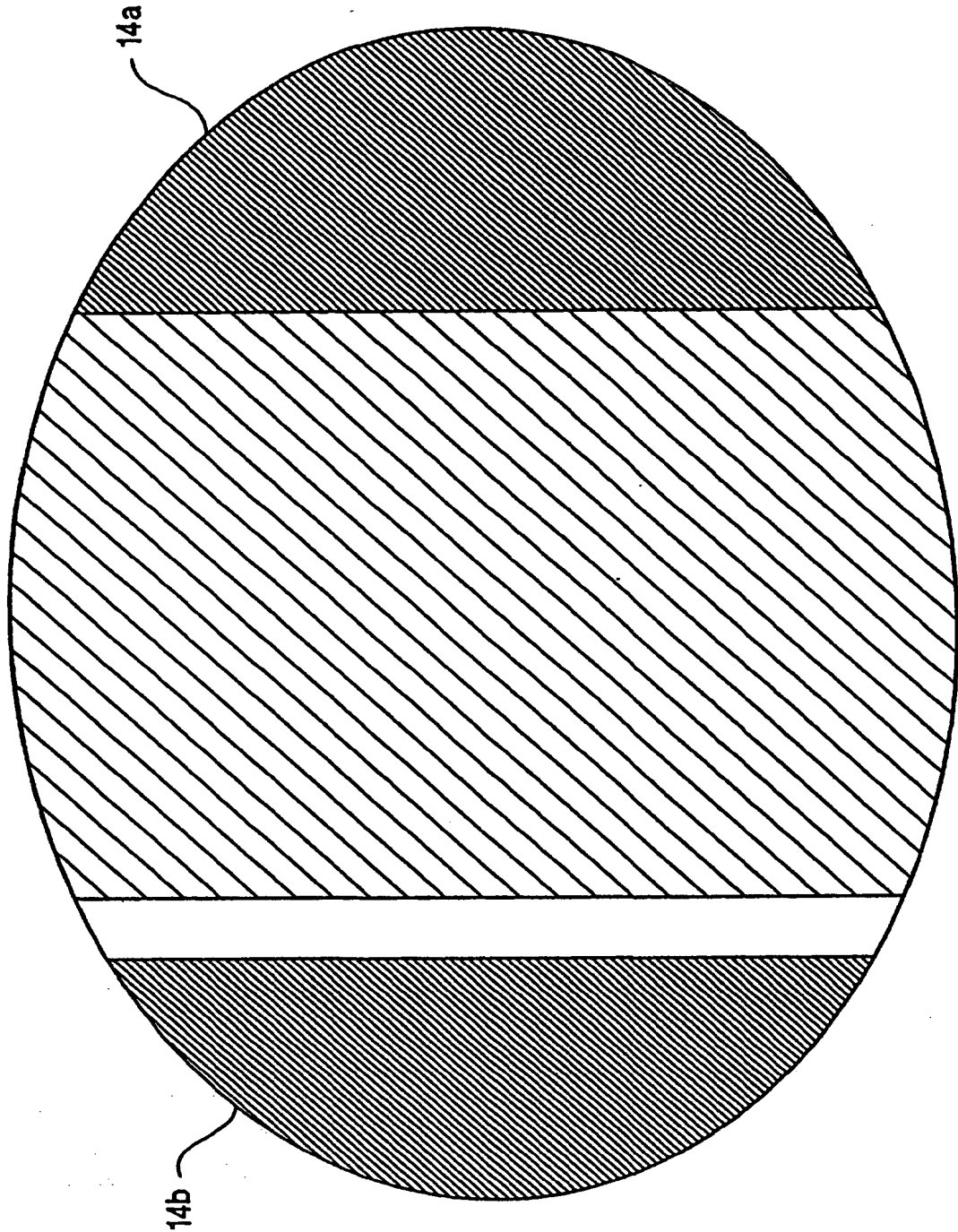


FIG. 8B

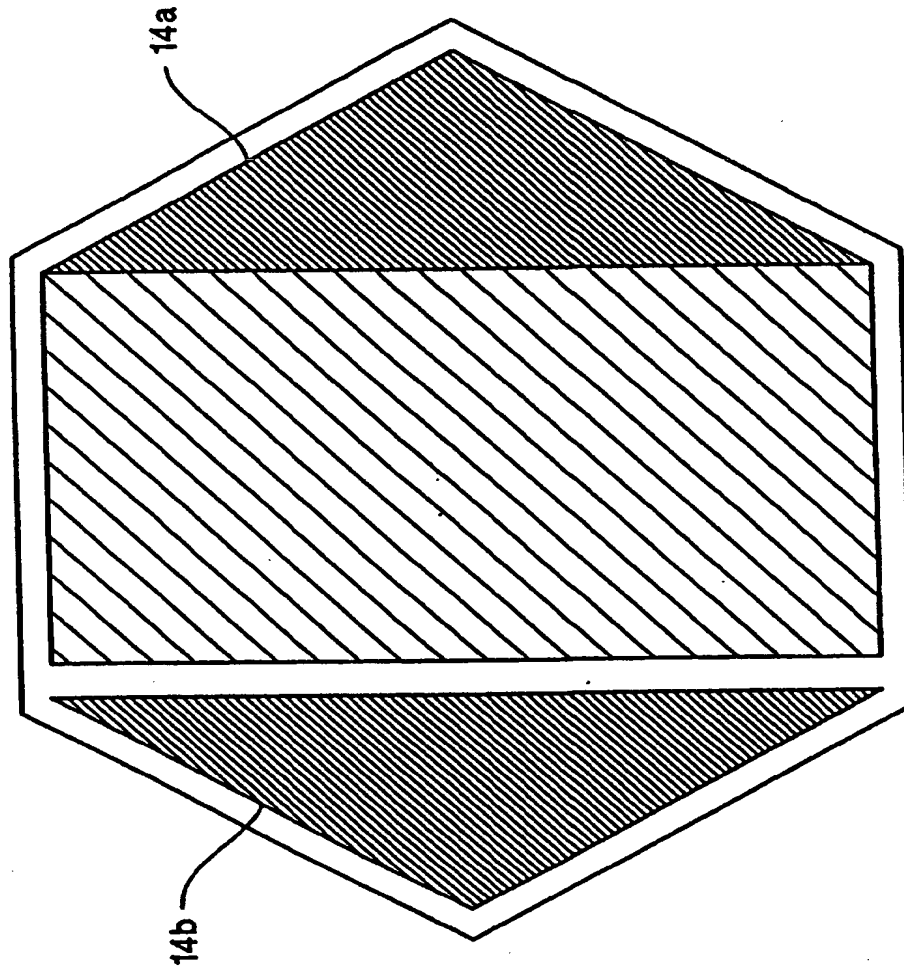


FIG. 8C

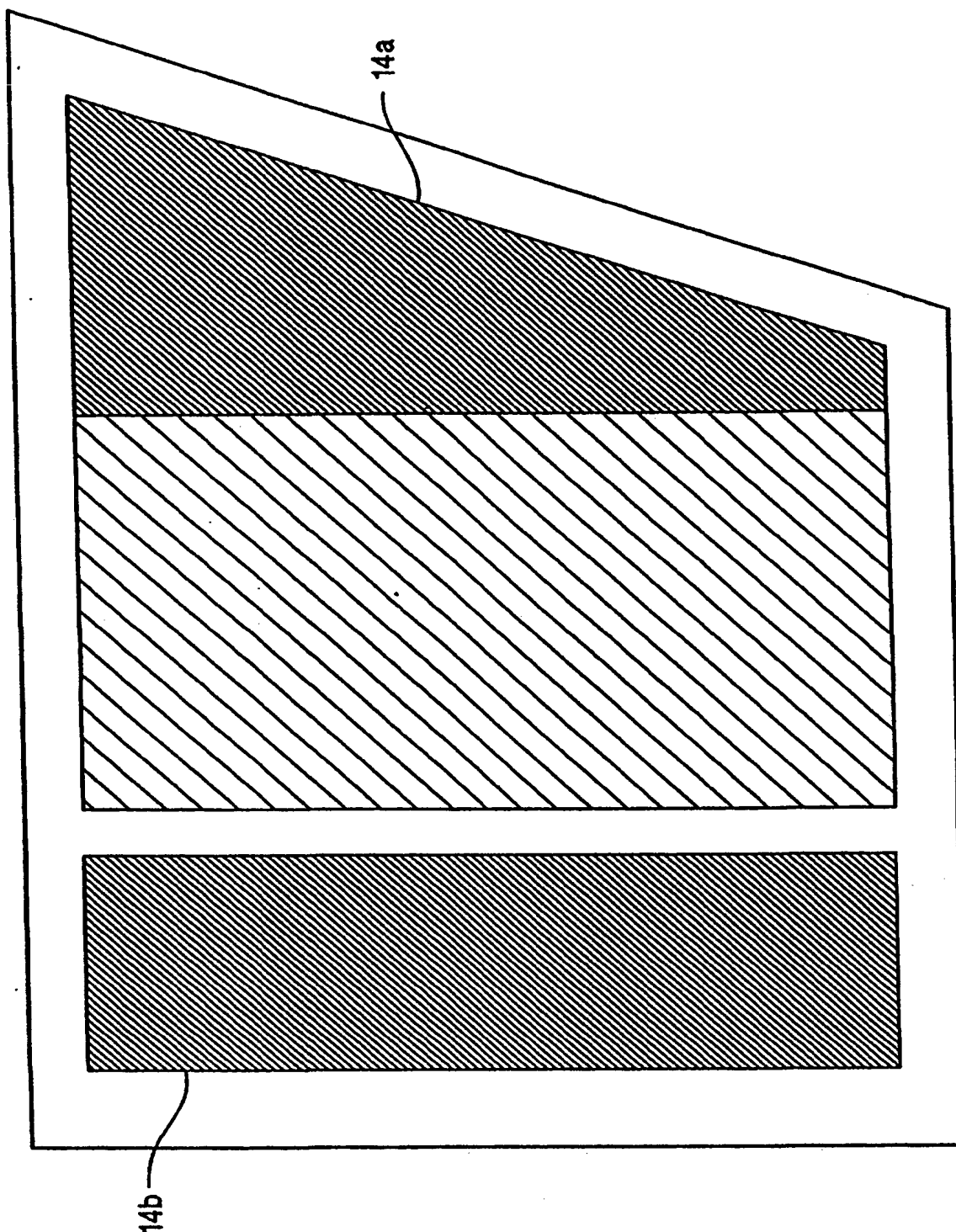


FIG. 8D

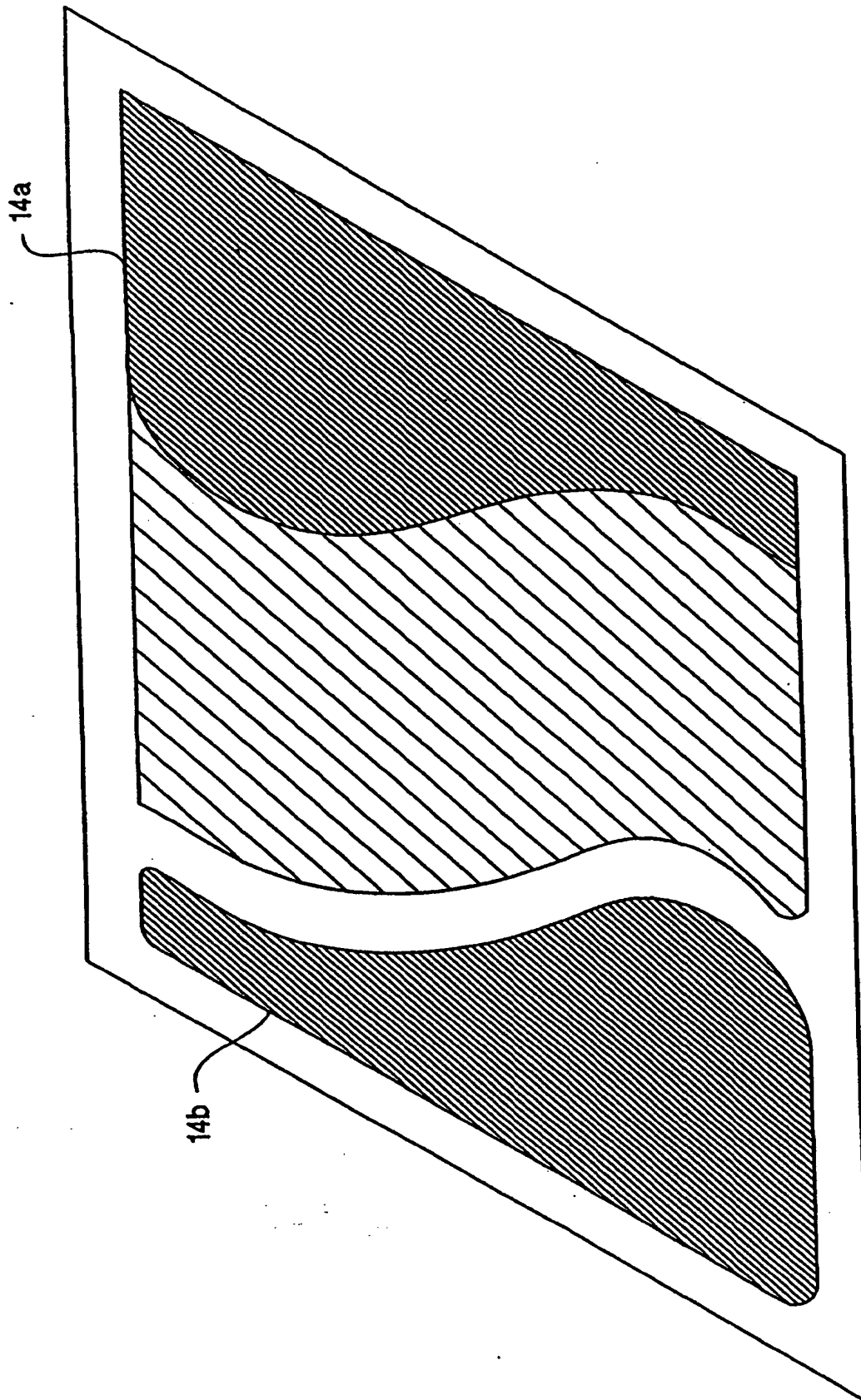


FIG. 8E

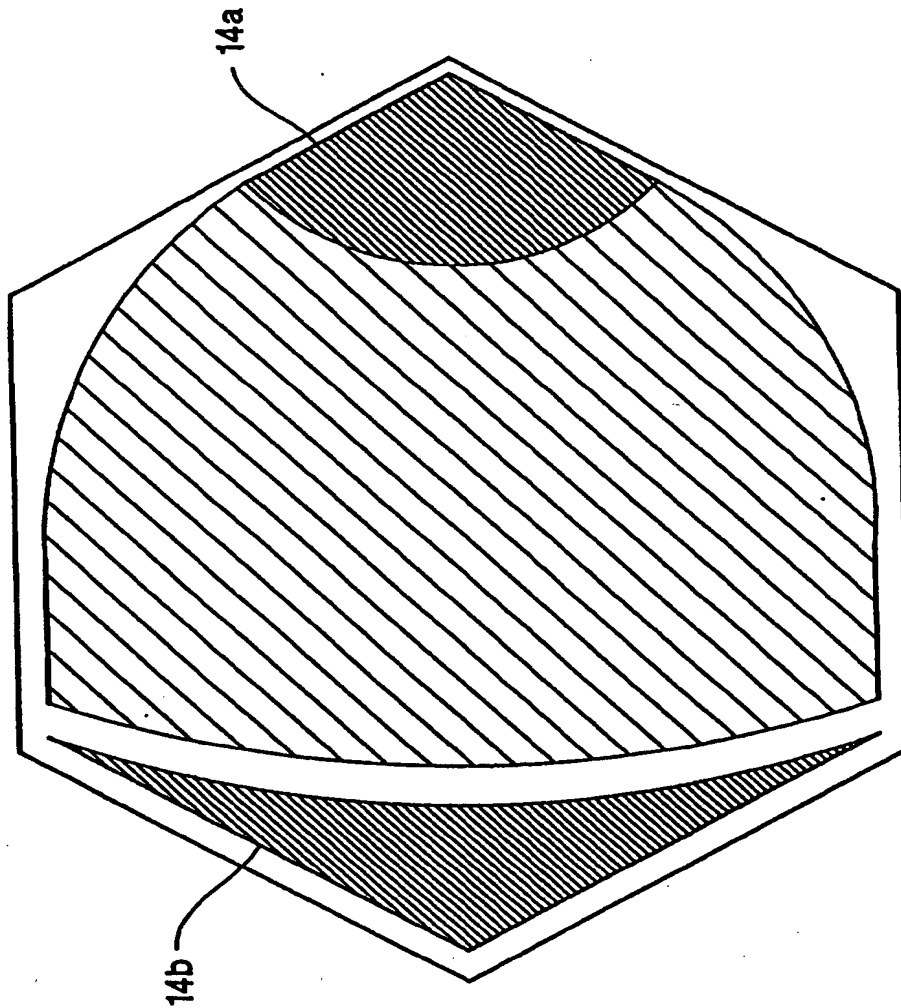


FIG. 8F



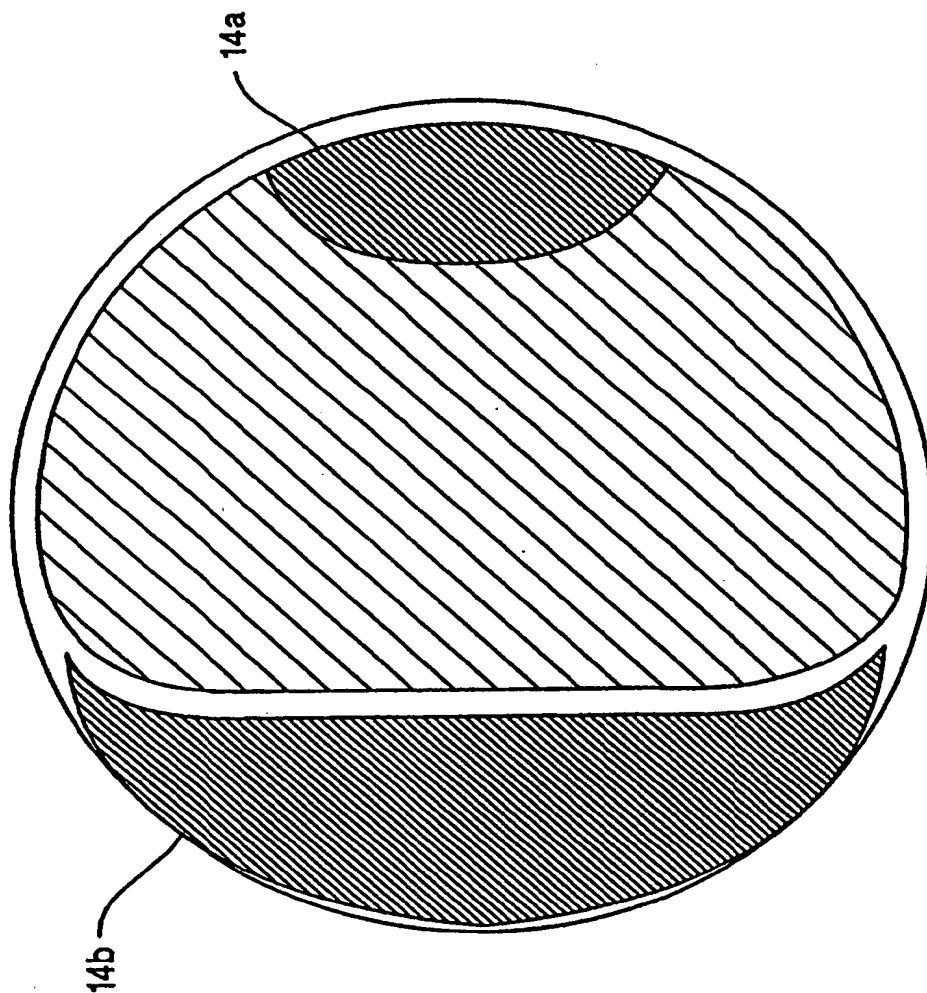


FIG. 8G

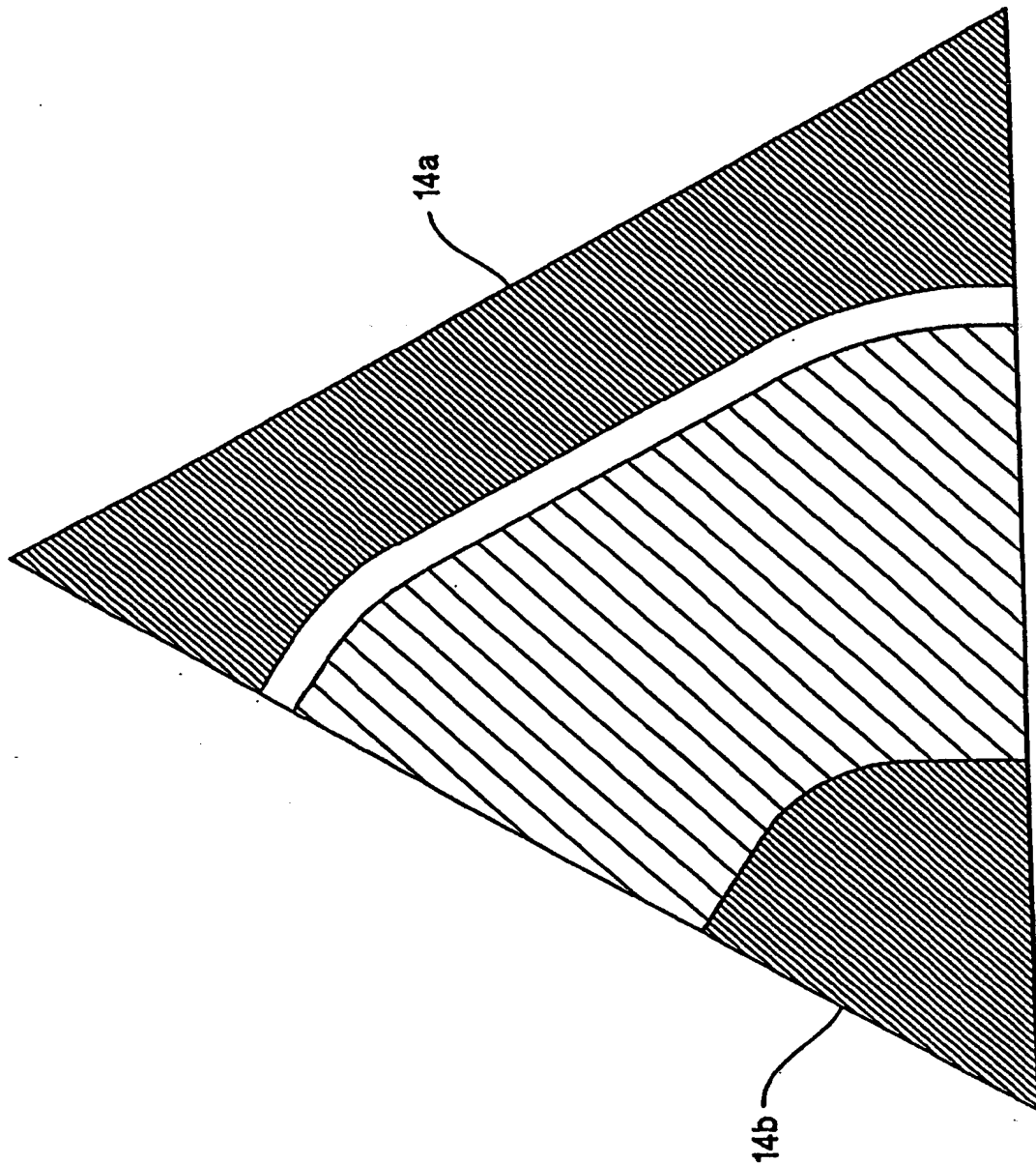


FIG. 8H

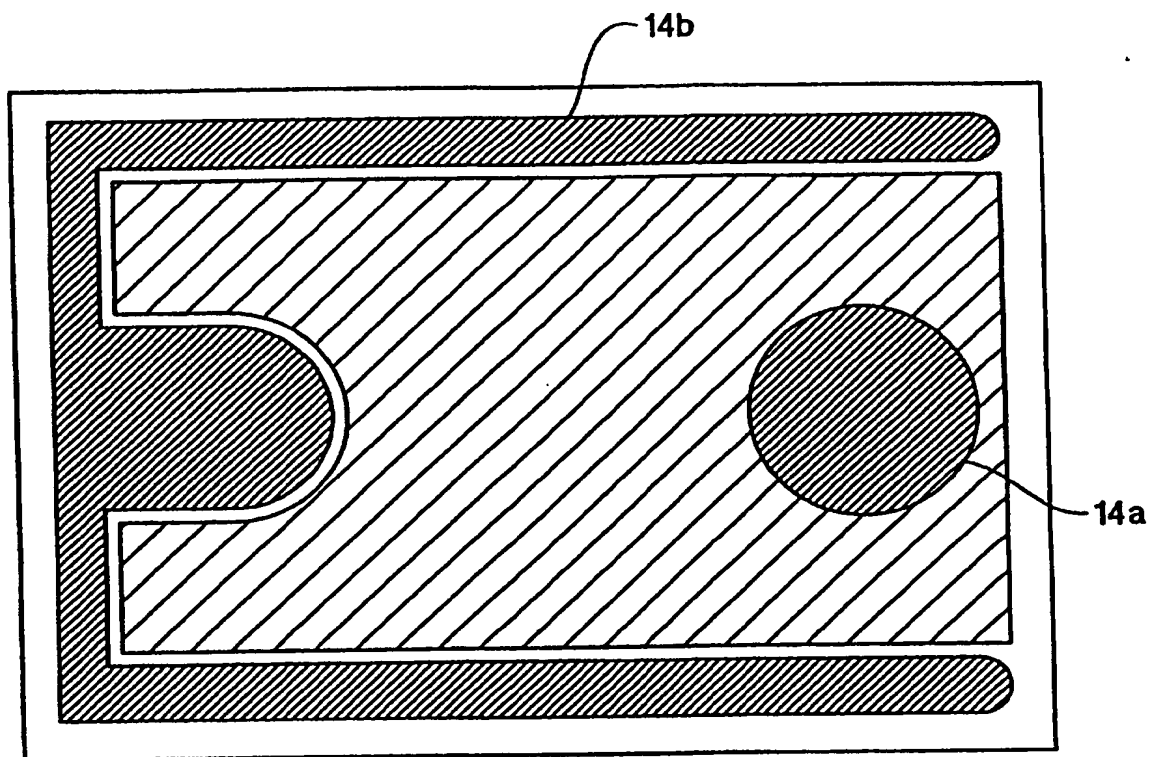


FIG. 9

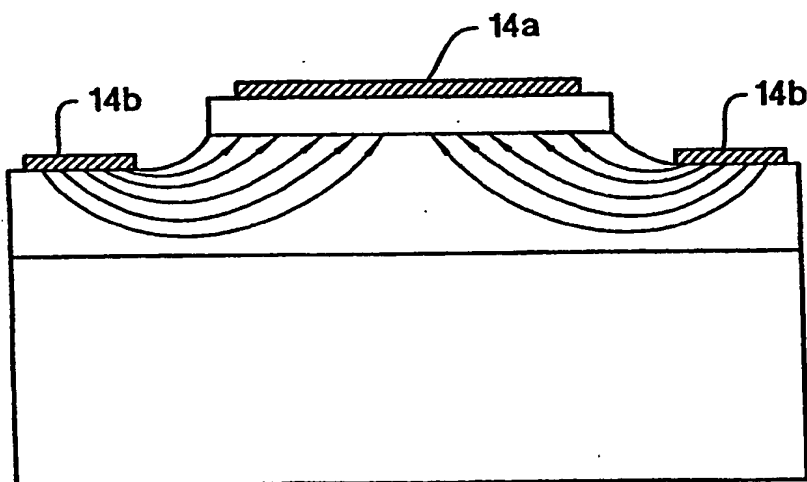


FIG. 10

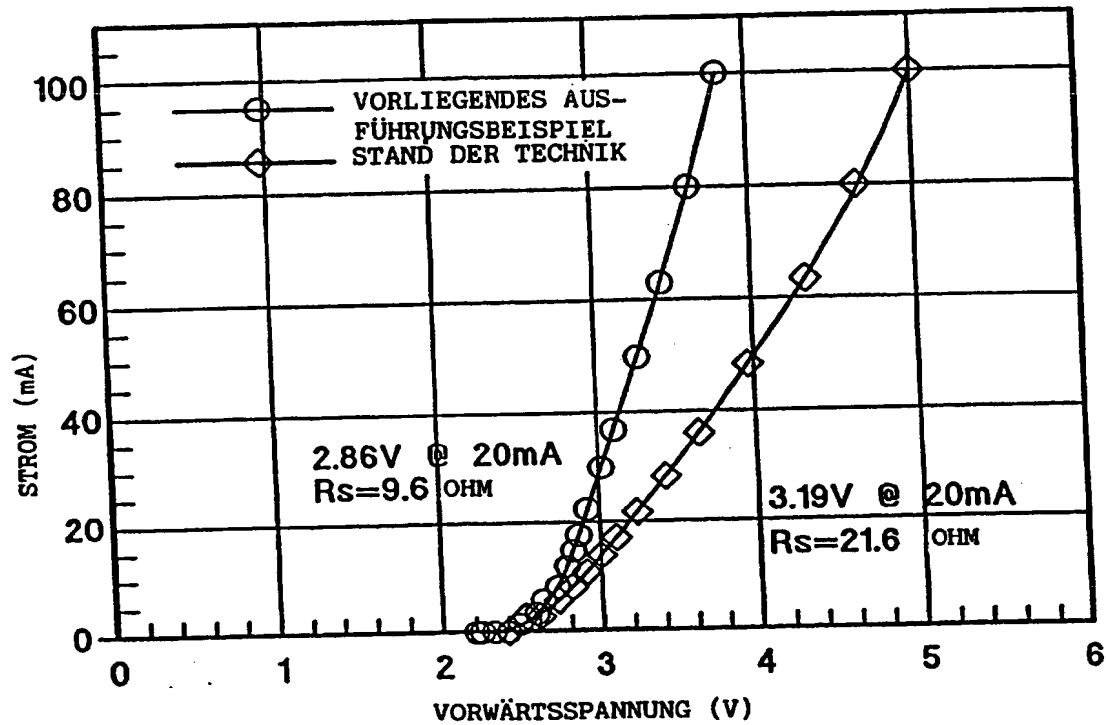


FIG.11

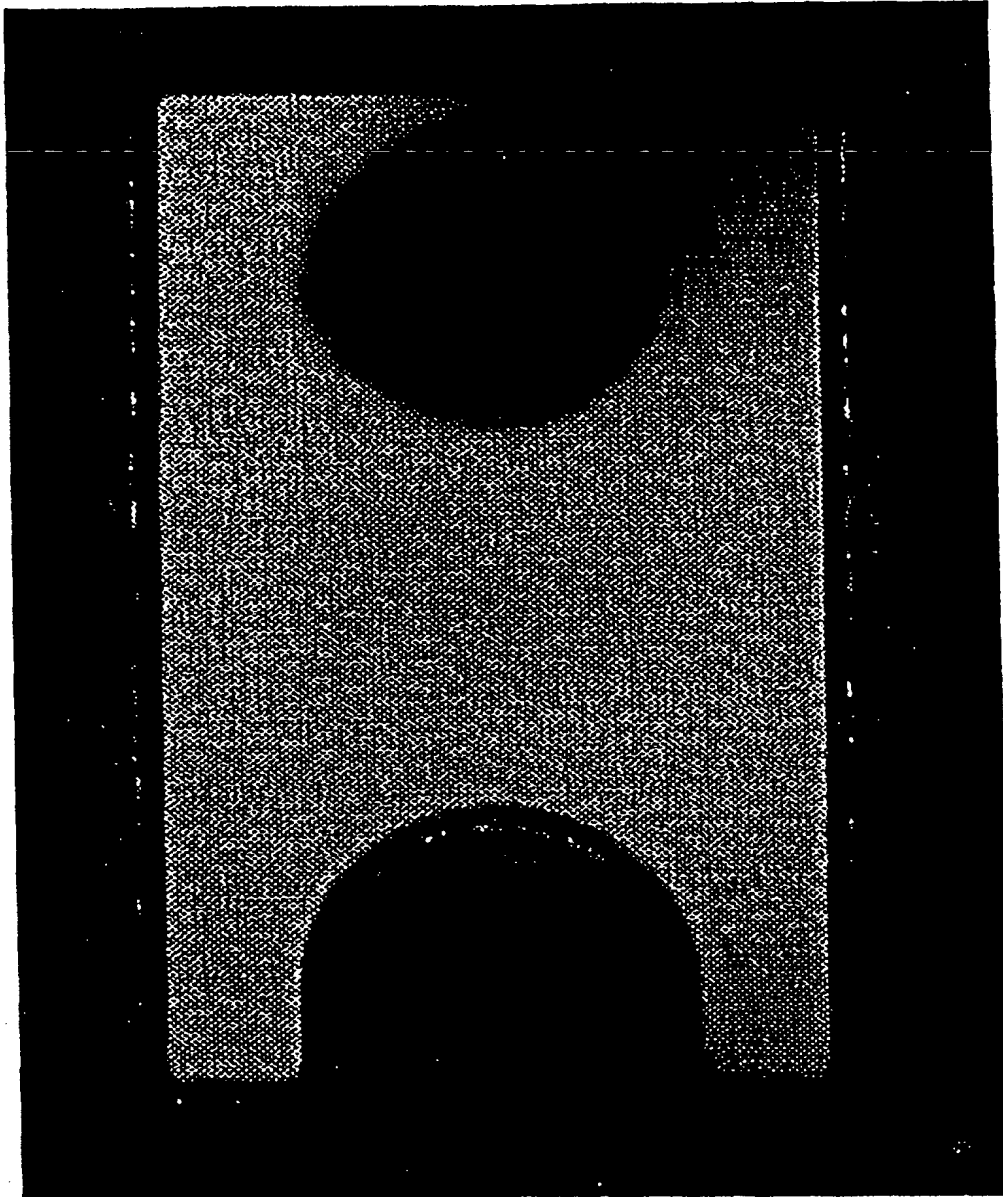


FIG. 12A

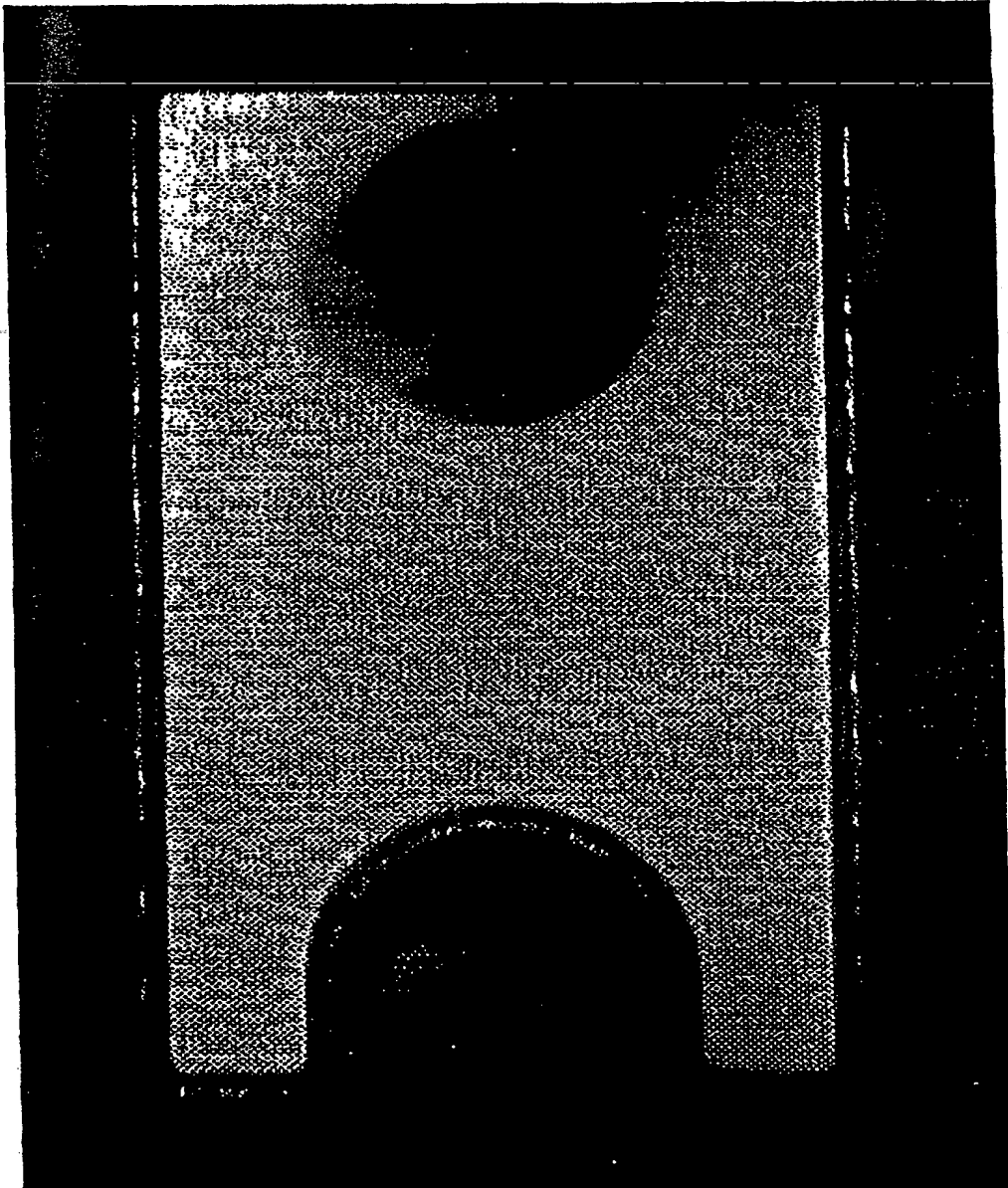


FIG. 12B

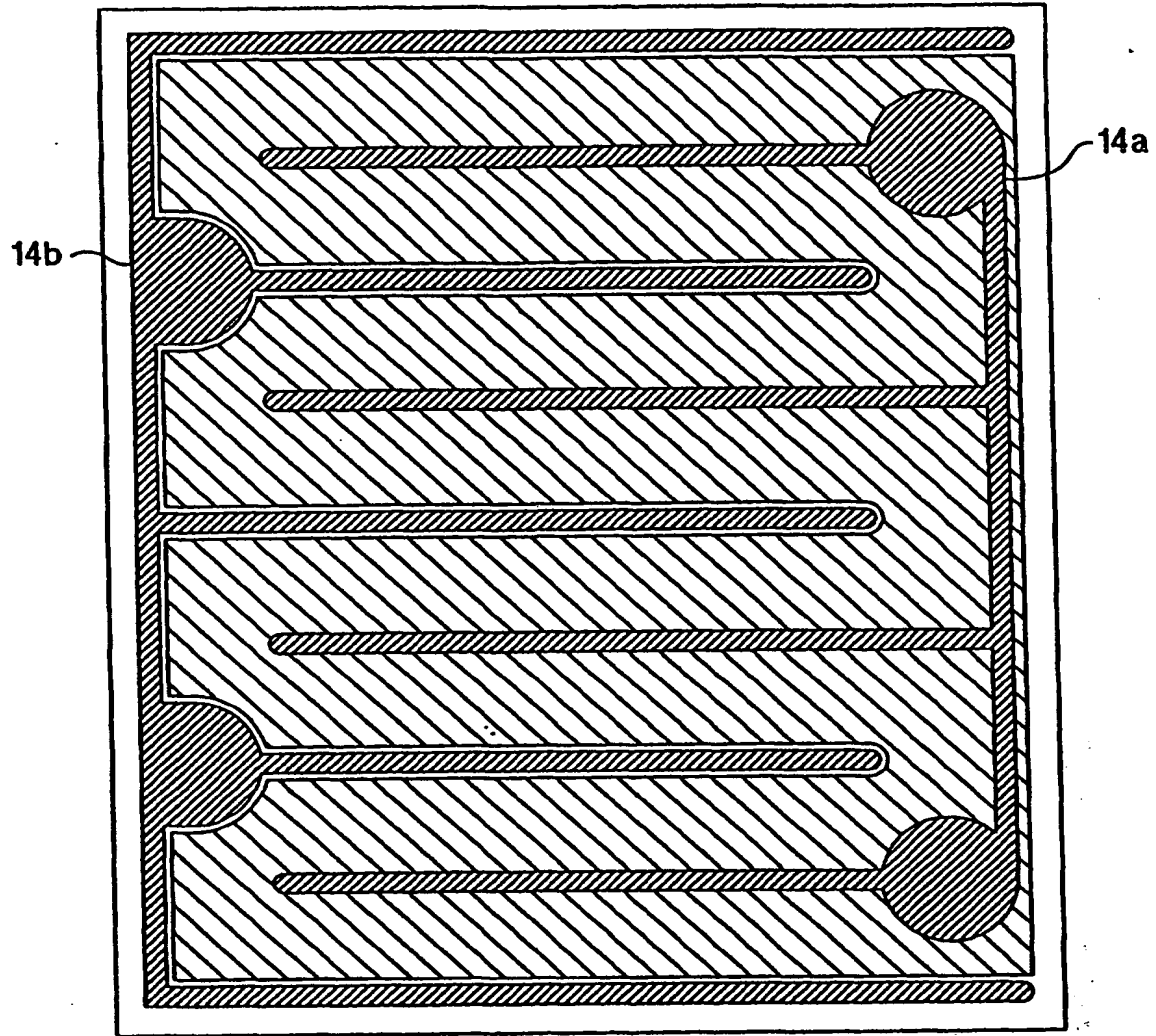


FIG. 13



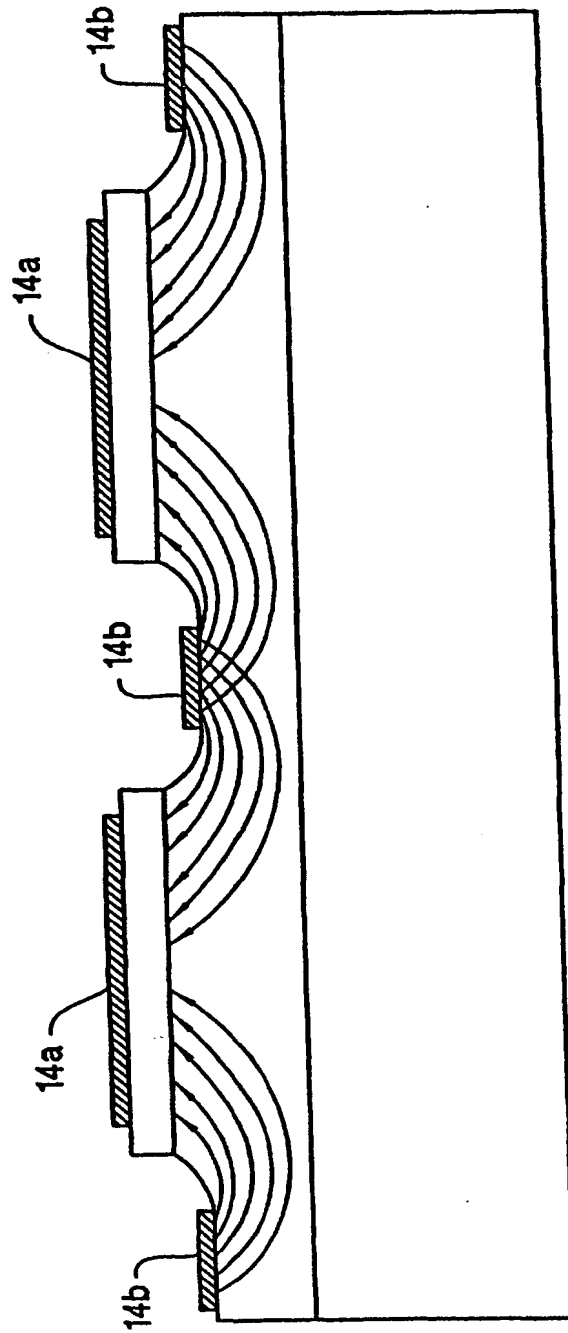


FIG. 14

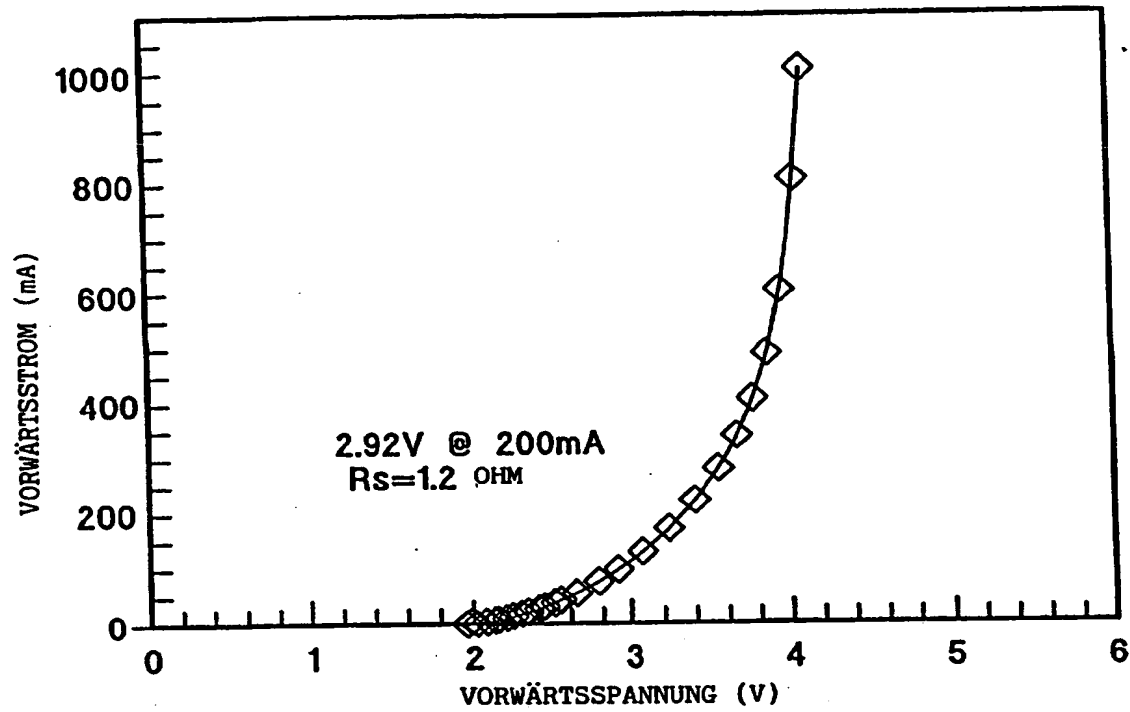


FIG.15

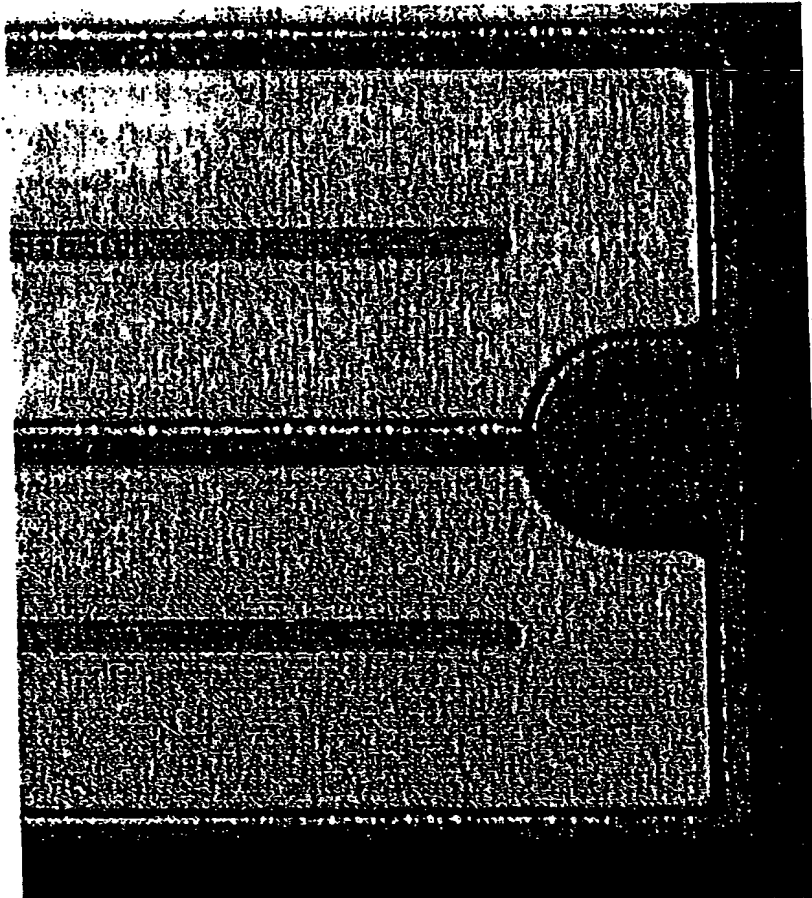


FIG. 16

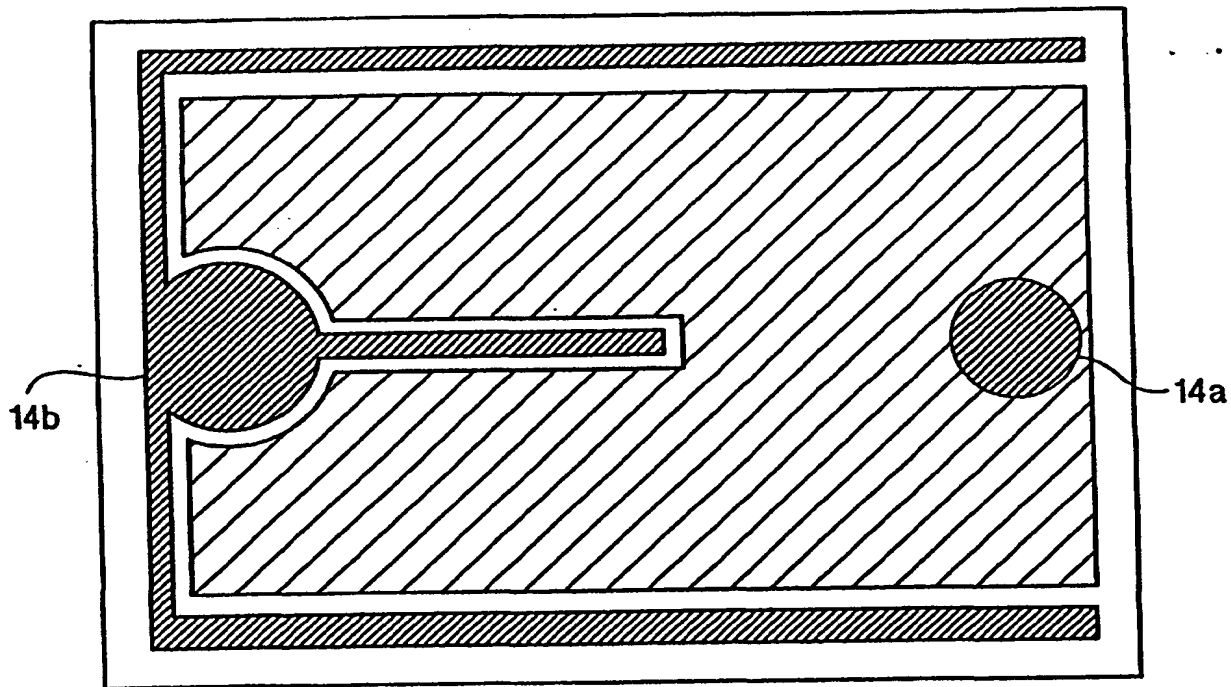


FIG. 17A

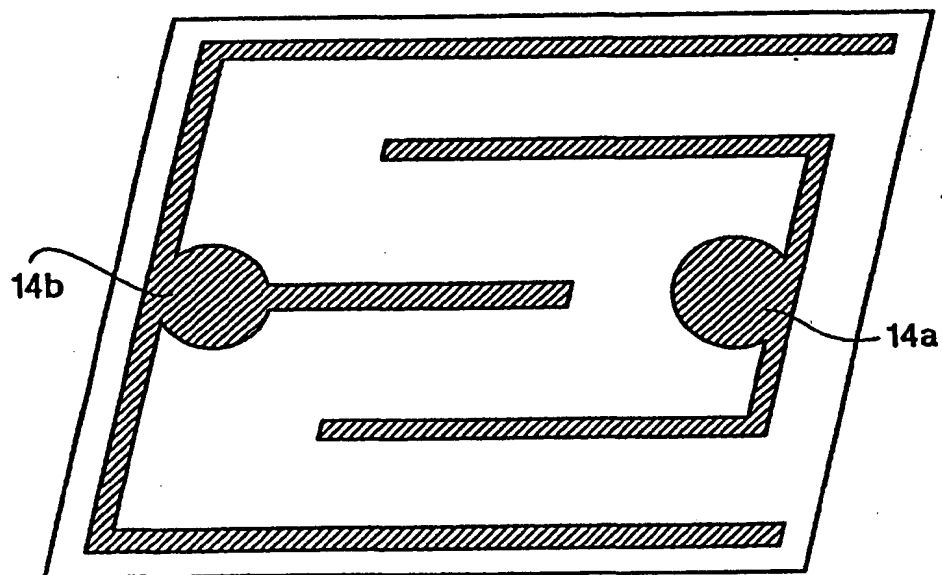


FIG. 17B

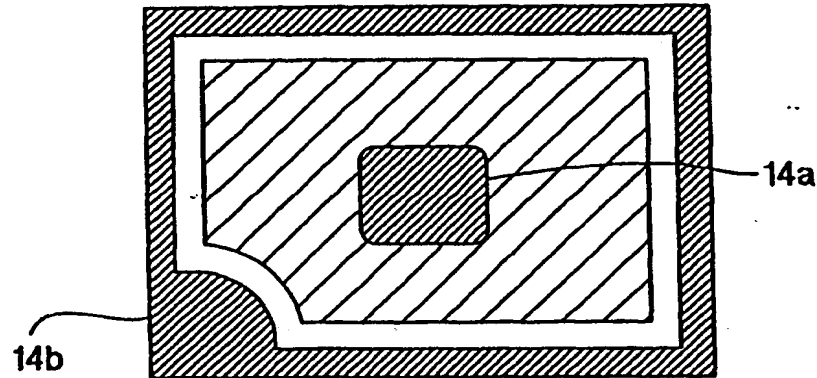


FIG. 18

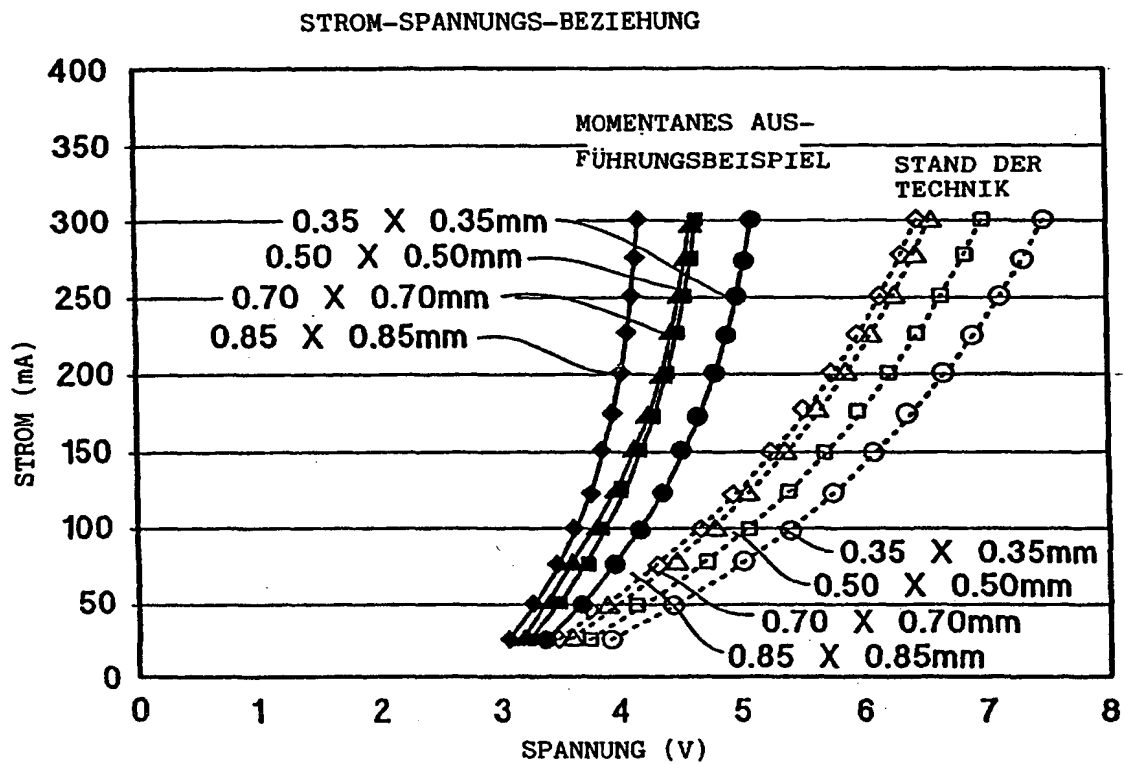


FIG. 19

## BEZIEHUNGEN: OPTISCHE AUSGANGSLEISTUNG-STROM

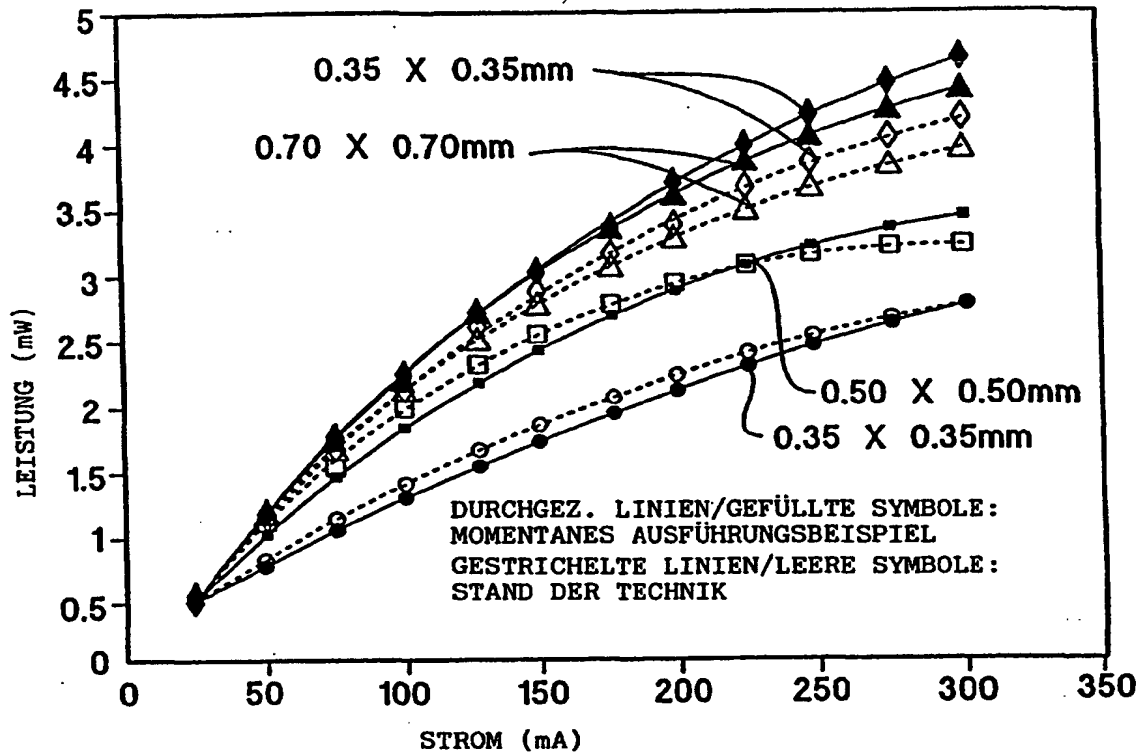
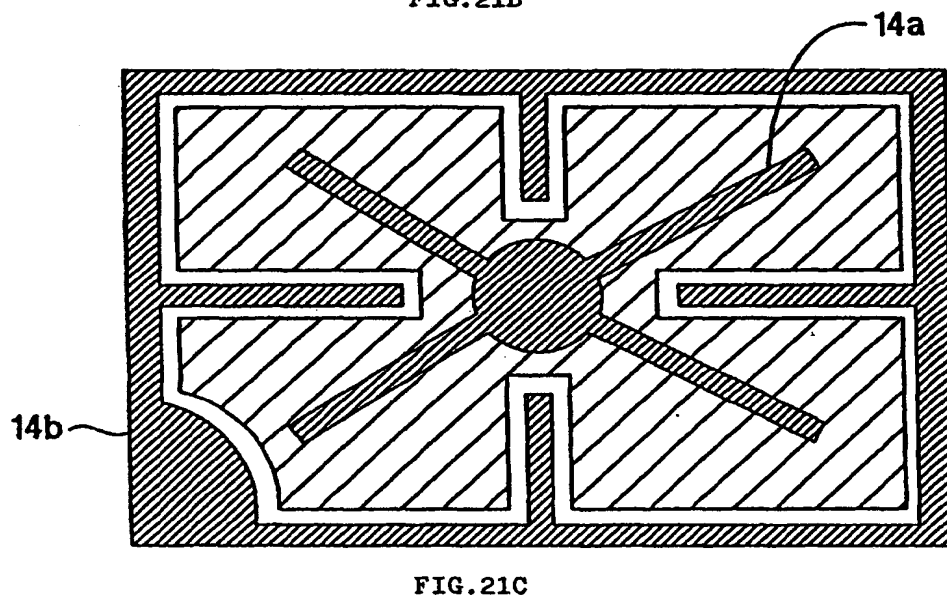
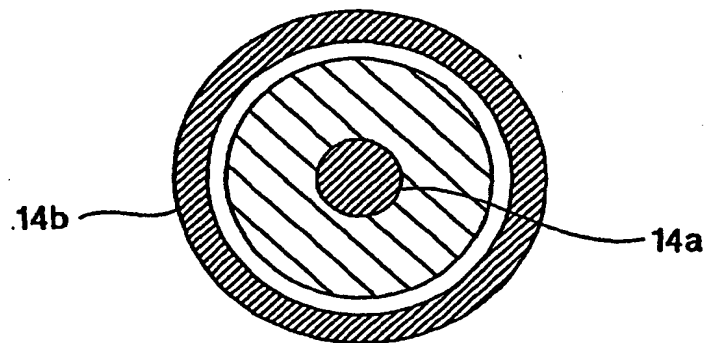
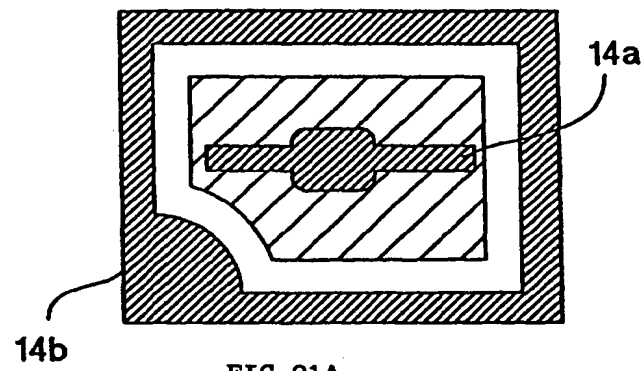


FIG.20



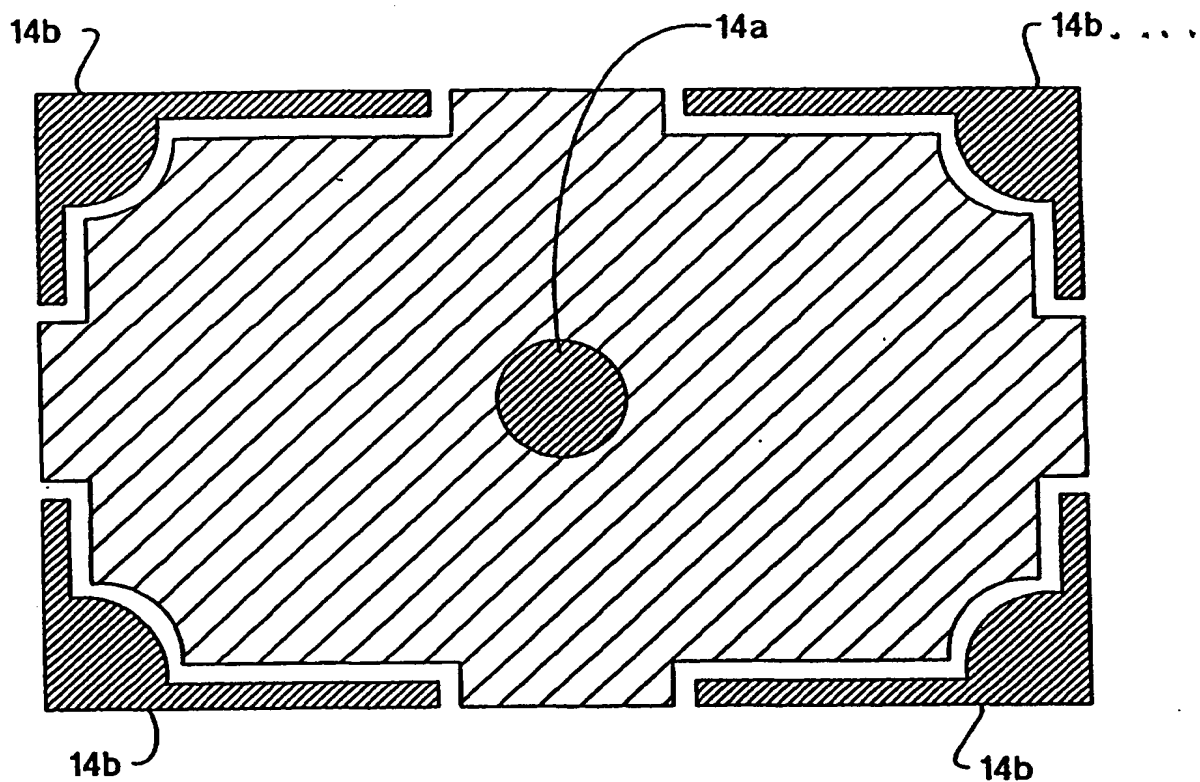


FIG. 22A

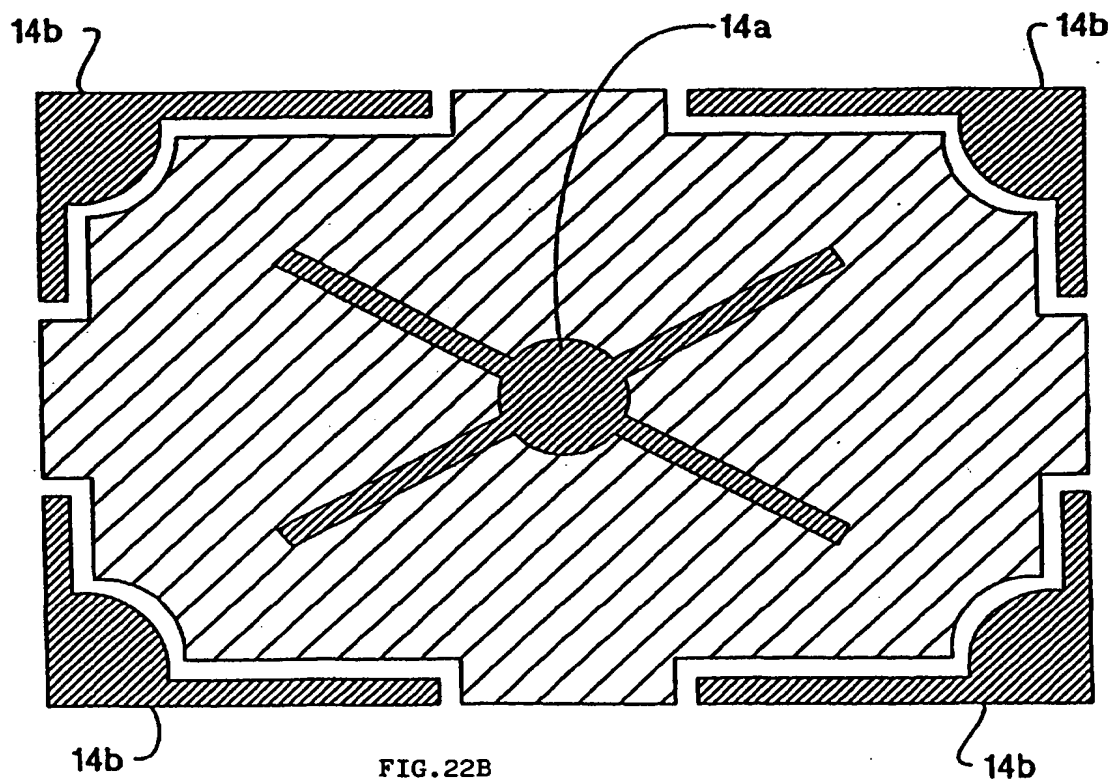


FIG. 22B



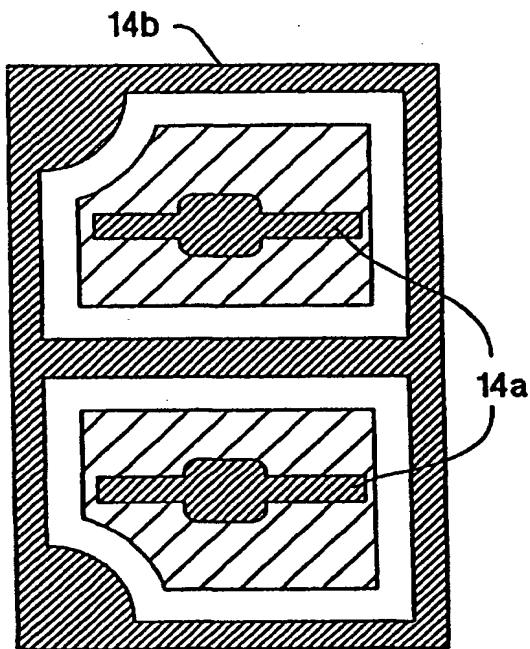


FIG. 23A

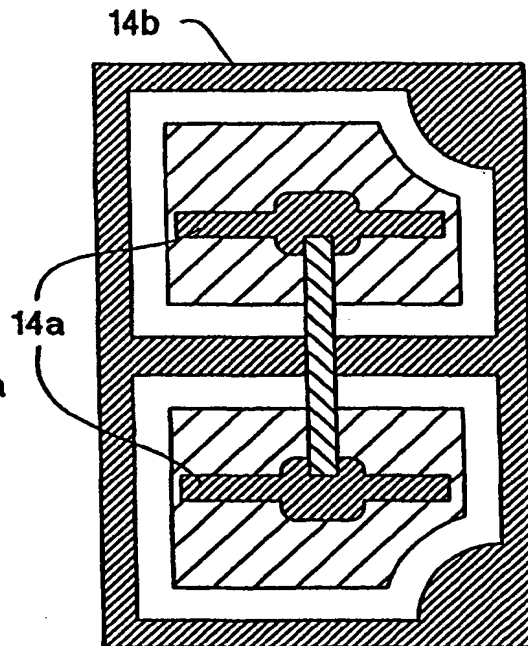


FIG. 23B

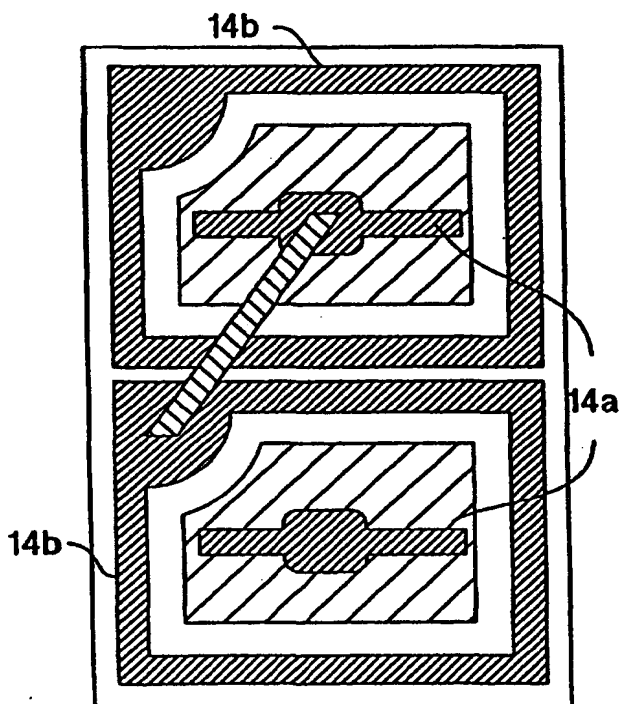


FIG. 23C

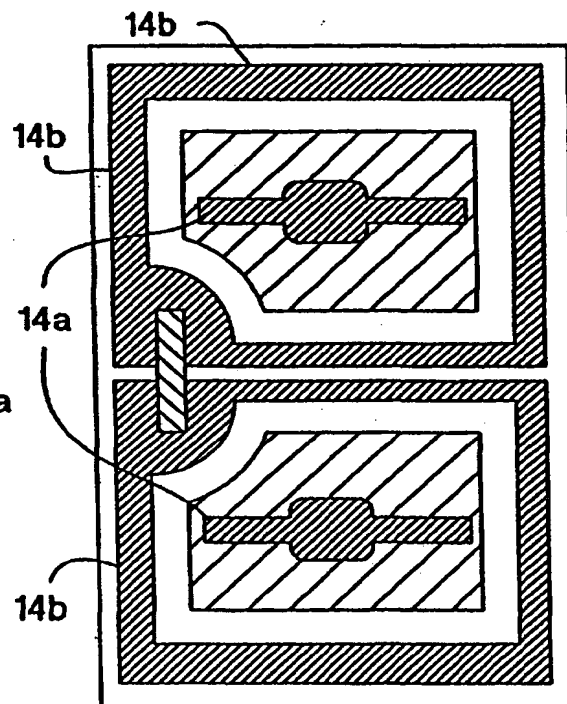


FIG. 23D

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**